

**UNIVERSIDAD DE ALCALÁ DE HENARES**

**Escuela Politécnica Superior**

**GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS DE  
TELECOMUNICACIÓN**



**Trabajo Fin de Grado**

**“Evaluación del consumo y de las emisiones  
contaminantes de un vehículo mediante  
Smartphones”**

Joaquín García Gómez  
2015



# UNIVERSIDAD DE ALCALÁ DE HENARES

Escuela Politécnica Superior

## GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS DE TELECOMUNICACIÓN

Trabajo Fin de Grado

**“Evaluación del consumo y de las emisiones contaminantes de  
un vehículo mediante Smartphones”**

Alumno: Joaquín García Gómez

Director: Luis Miguel Bergasa Pascual

**Tribunal:**

**Presidente:** D. Rafael Barea Navarro.

**Vocal 1º:** D. José Manuel Rodríguez Ascariz.

**Vocal 2º:** D. Luis Miguel Bergasa Pascual.

Calificación: .....

Fecha: .....



*El secreto de mi felicidad está en no esforzarse por el placer,  
sino en encontrar el placer en el esfuerzo.*  
André Gide.



# Agradecimientos

Este Trabajo Fin de Grado supone el fin de una etapa importante en mi vida. Cuatro años han pasado ya desde que cruzara por primera vez las puertas de la politécnica, y parece que fuera ayer.

En primer lugar, me gustaría agradecer al grupo de laboratorio en el que he estado desarrollando mi TFG, *RobeSafe*, especialmente a Luis Miguel por elegirme para este trabajo, y en general por guiarnos y estar pendiente de todo cada semana, tratando de sacar lo mejor de nosotros en este proyecto. También dar las gracias al resto de compañeros de laboratorio, sobre todo a Edu, que me ha echado una mano cuando lo he necesitado, a Roberto, por su amabilidad y disposición con todos, y a Gonza, con quien he compartido la inexperiencia inicial de trabajar con Apple.

Indudablemente, dedico este esfuerzo a mi familia: a mis padres, Isabel y Juan, por estar siempre ahí, apoyarme en todas y cada una de las decisiones de mi vida, y preocuparse de todo lo que tiene que ver conmigo. Por supuesto también a mi hermano Juan Antonio, mi cómplice desde que nací, un compañero con el que cuento para siempre y cuyo sentido del humor no está pagado.

También me gustaría agradecer estos años a todas aquellas personas que han pasado por mi vida durante la carrera. Al grupo de amigos que formamos en primero, especialmente a Zahira, por haberse convertido en alguien imprescindible, a Rubén, por dejarse ver y no abandonarnos a pesar de su “espantada” a INEF, a Santi, por ser el compañero de colegio con el que empecé hace años y con el que acabo la carrera, y a Adri y Álvaro. También a Javi y Marta, por haber compartido con ellos las penas y alegrías de los últimos cursos.

Gracias por supuesto a aquellas que nunca me van a faltar, Lidia y Eva, mucho más que dos amigas. También a Ale y Andrea, por los grandes momentos que hemos pasado y pasaremos. Y por último, gracias a David, por confirmar en mí y estar presente este último año a cada momento, para lo bueno y para lo malo.





# Índice general

<b>I</b>	<b>Memoria</b>	<b>23</b>
<b>1.</b>	<b>Introducción</b>	<b>25</b>
1.1.	Estado del Arte . . . . .	26
1.2.	Objetivos . . . . .	28
<b>2.</b>	<b>Obtención del estado del vehículo. Sistema OBD</b>	<b>29</b>
2.1.	Introducción. Bus CAN . . . . .	29
2.2.	El sistema OBD . . . . .	30
2.2.1.	Breve historia . . . . .	31
2.2.2.	Necesidad del sistema OBD . . . . .	31
2.3.	OBD en los automóviles . . . . .	31
2.3.1.	Ubicación del conector OBD . . . . .	32
2.4.	Hardware necesario . . . . .	35
2.5.	Funcionamiento . . . . .	37
2.6.	Variables . . . . .	38
2.7.	Software inicial. Aplicación BasicScan . . . . .	39
<b>3.</b>	<b>Estudio sobre la eficiencia de la conducción</b>	<b>41</b>
3.1.	Tratamiento de la información . . . . .	41
3.2.	Evaluación de criterios relacionados con la conducción eficiente . . . . .	42
3.2.1.	Introducción . . . . .	42
3.2.2.	Estudio de los cambios de marcha . . . . .	45
3.2.3.	Estudio de los arranques . . . . .	47
3.2.4.	Estudio de los intervalos de aceleración . . . . .	48
3.2.5.	Estudio de los intervalos de frenada . . . . .	48
3.2.6.	Estudio final . . . . .	49
3.3.	Cálculo del consumo y de la contaminación emitida . . . . .	49
3.3.1.	Consumo del automóvil . . . . .	50
3.3.2.	Contaminación emitida por el automóvil . . . . .	52
3.3.2.1.	Gases de escape de los vehículos . . . . .	52
<b>4.</b>	<b>Interfaz gráfica de la aplicación</b>	<b>57</b>
4.1.	Pantalla <i>User Data</i> . . . . .	57
4.1.1.	Tipo de combustible del automóvil . . . . .	58
4.1.2.	Perfil de usuario . . . . .	59
4.2.	Pantalla <i>Trip</i> . . . . .	59
4.2.1.	Módulo de consejos online . . . . .	60
4.2.2.	Implementación de los consejos . . . . .	60
4.2.2.1.	Consejo 1: “Apague el motor” . . . . .	60
4.2.2.2.	Consejo 2: “Aumente la marcha” . . . . .	61

4.2.2.3.	Consejo 3: “Disminuya la marcha” . . . . .	62
4.2.2.4.	Consejo 4: “Acelere más despacio” . . . . .	62
4.2.2.5.	Consejo 5: “Frene más despacio” . . . . .	62
4.2.2.6.	Consejo 6: “Está conduciendo a una velocidad excesiva” . . . . .	63
4.2.2.7.	Consejo 7: “La conducción es la adecuada” . . . . .	64
4.2.3.	Sincronización de consejos . . . . .	64
4.2.4.	Implementación visual y auditiva . . . . .	65
4.3.	Pantalla <i>Statistics</i> . . . . .	65
<b>5.</b>	<b>Servidor web de base de datos</b>	<b>67</b>
5.1.	Introducción . . . . .	67
5.2.	Información a enviar . . . . .	67
5.3.	Cliente . . . . .	67
5.4.	Servidor . . . . .	68
5.4.1.	Infraestructura del servidor . . . . .	68
5.4.2.	Código PHP . . . . .	68
5.4.3.	Estructura de datos . . . . .	69
5.4.4.	Análisis de datos . . . . .	70
<b>6.</b>	<b>Resultados</b>	<b>71</b>
6.1.	Trayectos urbanos . . . . .	71
6.2.	Trayectos mixto e interurbano . . . . .	75
6.3.	Trayectos con otros usuarios . . . . .	78
<b>7.</b>	<b>Conclusiones y Trabajos Futuros</b>	<b>85</b>
<b>II</b>	<b>Manual de Usuario</b>	<b>87</b>
<b>III</b>	<b>Pliego de condiciones</b>	<b>91</b>
<b>IV</b>	<b>Presupuesto</b>	<b>95</b>

# Índice de figuras

1.1.	Efecto de la conducción eficiente sobre el confort y la contaminación acústica. . .	26
1.2.	Diagrama de bloques de la aplicación propuesta en [1]. . . . .	27
2.1.	Comparativa entre la conexión interna de un automóvil sin bus CAN (izquierda) y con bus CAN (derecha) . . . . .	30
2.2.	Ubicaciones más frecuentes del conector OBD dentro del automóvil . . . . .	33
2.3.	De izquierda a derecha: Ubicación 1 en <i>Peugeot 5008</i> y Ubicación 2 en <i>Citroen C1</i>	33
2.4.	De izquierda a derecha: Ubicación 3 en <i>Peugeot Boxer 3</i> y Ubicación 4 en <i>Citroen Jumpy 3</i> . . . . .	33
2.5.	De izquierda a derecha: Ubicación 9 en <i>Peugeot 308</i> y Ubicación 10 en <i>Citroen C5</i>	34
2.6.	Ejemplo de Ubicación 11 en <i>BMW 530D</i> y Adaptador de OBD a OBD-II . . . .	34
2.7.	Aspecto físico del Adaptador WiFi OBD2 ELM327 . . . . .	36
2.8.	Comunicación entre el iPhone y el puerto OBD-II . . . . .	37
3.1.	Influencia de los cambios de marcha sobre el consumo del automóvil . . . . .	44
3.2.	Consumo de un automóvil a la misma velocidad en diferentes marchas . . . . .	44
3.3.	Correlación entre el valor MAF y la carga del motor en un determinado automóvil ( <i>Citroen C3 1.4 HDi</i> ) . . . . .	50
3.4.	Correlación entre el flujo de combustible y el producto entre el flujo de aire y la carga del motor, en tres automóviles distintos ( <i>Fiat Punto Diesel</i> , <i>Fiat Bravo Diesel</i> y <i>Ford Focus</i> ) . . . . .	51
3.5.	Composición de los gases de escape de los motores diésel y gasolina . . . . .	53
4.1.	Logo de la aplicación <i>OBDrivingCoach</i> . . . . .	57
4.2.	Captura de la pantalla <i>User Data</i> . . . . .	58
4.3.	Capturas de la pantalla <i>Trip</i> . A la izquierda, la interfaz presente durante la con- ducción. A la derecha, la ventana de confirmación de envío de los datos al servidor.	59
4.4.	Evolución del consumo con el aumento de velocidad . . . . .	63
4.5.	Interpretación numérica del gráfico anterior . . . . .	64
4.6.	Captura de la pantalla <i>Statistics</i> . . . . .	66
5.1.	Diagrama del software LAMP . . . . .	69
5.2.	Distribución de los datos en el servidor . . . . .	69
6.1.	Evolución de las variables RPM, velocidad, aceleración, consejos sugeridos al usua- rio y consumo. Viaje urbano con conducción eficiente . . . . .	72
6.2.	Evolución de las variables RPM, velocidad, aceleración, consejos sugeridos al usua- rio y consumo. Viaje urbano con conducción no eficiente . . . . .	73
6.3.	Tabla comparativa de criterios: Viaje urbano con conducción eficiente y no eficiente	75
6.4.	Evolución de las variables RPM, velocidad, aceleración, consejos sugeridos al usua- rio y consumo. Viaje mixto. . . . .	76

6.5. Evolución de las variables RPM, velocidad, aceleración, consejos sugeridos al usuario y consumo. Viaje interurbano. . . . . 77

6.6. Tabla comparativa de criterios: Usuarios 1, 2 y 3. . . . . 78

6.7. Evolución de las variables RPM, velocidad, aceleración, consejos sugeridos al usuario y consumo. Usuario 2 . . . . . 80

6.8. Evolución de las variables RPM, velocidad, aceleración, consejos sugeridos al usuario y consumo. Usuario 3 . . . . . 81

# Índice de tablas

2.1. Variantes del protocolo ISO 15765-4 CAN . . . . .	30
2.2. Proctolos compatibles con OBD-II . . . . .	32
2.3. Características técnicas del Adaptador WiFi OBD2 ELM327 . . . . .	35
2.4. PIDs de interés para la aplicación . . . . .	38
3.1. Nomenclatura de las variables proporcionadas por OBD-II . . . . .	42
3.2. Velocidad aproximada a la que se debe cambiar de marcha . . . . .	43
3.3. Factores de emisión de los gases nocivos a partir del factor del $CO_2$ . . . . .	54
4.1. Resultados del efecto de un sistema <i>Start-Stop</i> sobre el consumo de automóviles .	61
6.1. Tabla comparativa de resultados: Viaje urbano con conducción eficiente y no eficiente. . . . .	74
6.2. Tabla de resultados: Viaje mixto y Viaje interurbano . . . . .	78
6.3. Tabla comparativa de resultados: Usuarios 1, 2 y 3. . . . .	79
6.4. Tabla de características: Usuarios 1, 2 y 3. . . . .	79
6.5. Tabla comparativa de resultados: Usuarios 4, 5 y 6. . . . .	82
6.6. Tabla de características: Usuarios 4, 5 y 6. . . . .	82
6.7. Resumen de resultados: Error en el cálculo del consumo . . . . .	82
7.1. Costes de hardware . . . . .	97
7.2. Costes de software . . . . .	97
7.3. Costes de mano de obra . . . . .	97
7.4. Costes totales de ejecución material . . . . .	98
7.5. Costes totales de ejecución material . . . . .	98
7.6. Presupuesto de ejecución por contrata . . . . .	98
7.7. Importe total del presupuesto . . . . .	98



# Resumen

La conducción de automóviles es una práctica habitual para una amplia mayoría de la población que lleva asociados cierto consumo de combustible y emisión de gases contaminantes a la atmósfera por parte del turismo.

En este proyecto se describe el desarrollo de una aplicación capaz de optimizar los parámetros anteriores mediante la promoción de la conducción eficiente. Esta práctica, en auge hoy en día, se basa en un conjunto de reglas o estándares que requieren un proceso de aprendizaje continuo por parte del usuario.

La aplicación constituye un asistente que utiliza el sistema OBD-II presente en los vehículos y las funcionalidades del smartphone para modelar con precisión el patrón de conducción del piloto y sugerir consejos o nuevos comportamientos en tiempo real que corrijan los malos hábitos y ayuden a conseguir una conducción ecológica. Además, el usuario será puntuado en base a diferentes criterios y recibirá información acerca del consumo y la contaminación en cada viaje.

**Palabras clave:** sistema OBD-II, iPhone, conducción eficiente, asistente en tiempo real, consumo de combustible, emisión de gases contaminantes.





# Abstract

Car driving is an standard practice for the vast majority of the population that carries some fuel consumption and emission of pollutant gases into the atmosphere by the tourism.

In this project the development of an application capable of optimizing the above parameters by promoting efficient driving is described. This practice, booming today, is based on a set of rules or standards that require a continuous learning process by the user.

The application is an assistant that uses the OBD-II system present in the vehicle and the smartphone functionalities to accurately model the driving pattern of the pilot and suggests tips or new behaviors in real time to correct bad habits and help get an eco-driving. In addition, the user will be scored based on different criteria and get information about consumption and pollution in each trip.

**Key words:** OBD-II System, iPhone, eco-driving, real-time assistant, fuel consumption, pollutant gas emissions.



# Resumen extendido

La aplicación *OBDDrivingCoach* se encuentra dividida en cuatro módulos fundamentales. En la planta baja existe un bloque que se encarga de recoger el estado del vehículo, es decir, las variables más relevantes para evaluar el grado de eficiencia de la conducción, a través del bus CAN del vehículo. Los datos adquiridos son utilizados para extraer criterios de la conducción en la siguiente capa, útiles para clasificar el comportamiento del conductor. A continuación, la interfaz gráfica ofrece al conductor los resultados de la evaluación y sugiere, en tiempo real, algunos consejos para reducir el consumo de combustible. Por último, el servidor web permite el tratamiento de los datos a posteriori.

El proyecto, que se desarrollará a lo largo de los siguientes capítulos, consta de diferentes partes:

## 1. Obtención del estado del vehículo.

La primera fase de la aplicación consiste en la obtención de una serie de variables que nos permitan evaluar los patrones de conducción así como la eficiencia de los mismos. Con este fin, se utilizará el bus CAN, que nos permite acceder a los módulos electrónicos del vehículo.

La comunicación con este bus se basa en el sistema OBD-II (On Board Diagnostics System, versión II), que a través de un conector y un adaptador permite controlar las funciones del motor y demás módulos del vehículo. El mencionado conector se encuentra ubicado en el interior del automóvil, variando su localización dependiendo del modelo.

Con esta metodología se consigue un sistema económico, estándar y que modela correctamente y de forma online el patrón de conducción del usuario. La comunicación entre el smartphone y el sistema se basa en una conexión inalámbrica WiFi y en la utilización de PIDs (Identificadores de Parámetros) para leer las diferentes variables.

Las variables que se demandarán serán la carga del motor, las revoluciones por minuto, la velocidad del vehículo, la velocidad del flujo de masa de aire (MAF), el tiempo desde el arranque del motor y la presión del carril de combustible. Más adelante se explicará la necesidad de cada una de estas variables en el estudio. También se introducirá la aceleración, cuyo cálculo resulta trivial.

## 2. Evaluación de la eficiencia de la conducción.

Este segundo bloque se encuentra dividido en dos grandes secciones: por un lado, el estudio acerca de criterios relacionados con la conducción eficiente, y por otro el cálculo directo del consumo medio y la contaminación emitida.

En primer lugar, se lleva a cabo un estudio acerca de las directrices o estándares existentes que permiten conseguir una conducción ecológica o eficiente. De entre todos ellos, se seleccionan aquellos criterios que se pueden implementar numéricamente y que no son dependientes de la conducta del usuario, la cual se presupone acorde a la aplicación.

Así las cosas, se efectúa un estudio sobre las siguientes variables:

- a) Cambios de marcha. Hay que detectar cuándo se producen los cambios de marcha de tipo ascendente, de gran importancia de cara al consumo final, y posteriormente evaluar el valor de la variable revoluciones por minuto en estos instantes.
- b) Arranques. Considerando arranque al momento en que el automóvil comienza a acelerar desde el reposo, se evalúa el valor de la aceleración en un cierto intervalo de tiempo a partir del arranque y se asigna una puntuación general al usuario.
- c) Intervalos de aceleración. Dado que los cambios bruscos de velocidad penalizan el consumo del turismo, se puntúa positivamente la uniformidad de la conducción durante los intervalos de tiempo en que el automóvil se encuentra acelerando.
- d) Intervalos de frenada. Homológamente al caso anterior, se consideran los valores de aceleración durante los intervalos de tiempo en que el automóvil está decelerando.

Cabe destacar que se ha incluido una nueva condición para el cálculo de los cambios de marcha, basada en el valor de la carga del motor. Además, salvo en el estudio de los cambios de marcha, en el resto se toman intervalos de tiempo de cinco segundos, evaluando en dichos momentos el valor de aceleración máximo o mínimo, según corresponda. También se han mejorado las técnicas de evaluación de los diferentes criterios, incluyendo un umbral de puntuación superior y otro inferior. Por último, se proporciona un criterio final resultado del promediado de los cuatro anteriores, a modo de puntuación final del viaje.

En segundo lugar, se han efectuado los cálculos relativos al consumo del automóvil y la cantidad de gases contaminantes emitidos a la atmósfera.

- a) La ecuación de consumo surge de la correlación existente entre la cantidad de litros consumidos y el producto entre el flujo de masa de aire y la carga del motor. Esta ecuación resulta válida para automóviles de motorización diésel, no así en los de gasolina que en algunos casos no proporcionan la variable del flujo de masa de aire.
  - b) En cuanto a la contaminación emitida, se diferencia entre aquellos gases de efecto invernadero, fundamentalmente dióxido de carbono, y los gases que resultan tóxicos para la salud humana. A partir de los factores de emisión encontrados en la bibliografía se puede obtener la masa de gases emitida en función de los litros de combustible consumidos.
3. Desarrollo del módulo de consejos e interfaz gráfica La interfaz gráfica de la aplicación, muy simple y sencilla, consta de tres pantallas: *User Data*, *Trip* y *Statistics*.
- a) *User Data*. En la primera pantalla el usuario debe rellenar una serie de campos de entrada con información acerca del tipo de combustible así como del perfil de usuario. Estas variables serán útiles de cara al procesamiento de datos posterior a través del servidor.
  - b) *Trip*. En esta pantalla se muestra actualizada en tiempo real la información acerca del viaje, los criterios de conducción eficiente, datos del consumo y la contaminación y el módulo de consejos online. También se permite el envío de datos al servidor web. Este módulo de consejos se basa en las variables recibidas para mostrar al usuario sugerencias o cambios en el comportamiento y conseguir una reducción del consumo. Está formado por una lista de siete consejos, los cuales se encuentran correctamente programados para no presentar conflicto entre ellos. Los consejos prestan atención a las paradas prolongadas del automóvil, las aceleraciones o frenadas excesivas, la

revolución del motor inadecuada o la velocidad de cruce poco eficiente. La implementación está realizada tanto a nivel visual como auditivo, evitando las distracciones que pueda causar la pantalla del smartphone sobre el usuario.

- c) *Statistics*. Esta última pantalla permite al usuario consultar un resumen de las rutas realizadas con anterioridad, pudiendo observar qué viajes resultaron más eficientes y cuáles menos.

#### 4. Servidor web de base de datos

Hoy día las altas capacidades de comunicación de los smartphones permiten la conexión a Internet desde cualquier sitio, ofreciendo gran cantidad de posibilidades. En la aplicación se implementa un servidor web de base de datos donde se recopilará la información más relevante de los viajes realizados con la misma. La información que se almacenará consta de:

- a) Las variables capturadas por el sistema OBD-II sin modificar, para permitir recopilar una base de datos considerable de viajes de cara a futuras modificaciones.
- b) Los datos de entrada del usuario relativos al tipo de combustible y al perfil de usuario.
- c) La puntuación de los criterios de conducción eficiente y el cálculo del consumo y de la emisión de gases contaminantes.

Todos estos archivos son comprimidos y enviados con un nombre de ruta identificativo de la aplicación, el usuario, el tipo de teléfono móvil, y la fecha del viaje. Estos datos sirven para un análisis posterior que permita realimentación para el desarrollo de la aplicación, modelado del vehículo y del conductor y análisis estadístico.

#### 5. Obtención de resultados y análisis de los mismos.

Para el estudio de la eficacia de la aplicación se han realizado un conjunto de viajes con diferentes modelos de automóvil y usuarios. En este apartado se incluyen una fracción de todas las rutas efectuadas, intentando llevar a cabo un estudio que diferencie viajes eficientes y no eficientes, las características de trayecto (urbano, interurbano o mixto) y el tipo de conductor.

#### 6. Conclusiones generales y planteamiento de trabajos futuros.



Parte I

**Memoria**





# Capítulo 1

## Introducción

A lo largo del Trabajo de Fin de Grado presente se describe el desarrollo de una aplicación para teléfonos móviles inteligentes (concretamente, para terminales *iPhone*) capaz de promover la conducción eficiente entre los pilotos de los automóviles. La aplicación propuesta se encuentra dirigida fundamentalmente hacia aquellos conductores que no disponen de un vehículo equipado con sistemas de apoyo a la conducción eficiente.

Son muchas las razones por las que se ha desarrollado la aplicación. Entre las más destacadas se encuentran la contaminación medioambiental, el combustible como recurso limitado y su alto coste, las desventajas de los sistemas de apoyo a la conducción eficiente, la creciente funcionalidad y adquisición de los *smartphones* y la alta tasa de accidentes automovilísticos.

El alto número de automóviles en las carreteras es una causa grave de contaminación atmosférica y problemas ambientales. A pesar de las mejoras técnicas que se han llevado a cabo durante los últimos años en el mundo automovilístico, tales como el desarrollo de motores con menor consumo, la reducción de peso del vehículo o la mejora de su aerodinámica, la eficiencia del automóvil continúa teniendo una alta dependencia del comportamiento del conductor, y por tanto también la cantidad de gases contaminantes emitidos a la atmósfera. Hoy día, es tal el efecto de esta contaminación, que los vehículos causan más defunciones entre la población debido a estos gases que debido a accidentes en carretera.

En cuanto al combustible, el petróleo continúa siendo un recurso indispensable para el funcionamiento de una amplia mayoría de automóviles, exceptuando los turismos eléctricos. Además, se trata de una fuente de energía limitada, por lo que la sociedad debería tomarse en serio el ahorro del mismo antes de que se agote. Por otro lado el precio del petróleo, ya sea diésel o gasolina, se ha ido incrementando en los últimos años y no se encuentra al alcance de todas las economías.

Existen automóviles equipados con medidores del coste del combustible y sistemas de apoyo a la conducción eficiente, pero presentan algunos inconvenientes. Todos ellos, en caso de que el vehículo concreto los posean, son fuertemente dependientes del modelo en que se encuentren instalados. Cabe la posibilidad de instalar medidores de coste a posteriori, también en turismos antiguos, pero la instalación del hardware no resulta económica.

Otro motivo que ha propiciado el desarrollo en forma de aplicación de este proyecto ha sido la creciente funcionalidad de los *smartphones*, que cada vez disponen de más recursos al alcance de los desarrolladores, especialmente las comunicaciones inalámbricas. Además, la adquisición de teléfonos móviles inteligentes se encuentra en un momento de auge, de forma que prácticamente todo el mundo con edad de conducir posee un terminal con las funciones básicas que demanda

la aplicación.

Por último, la conducción eficiente lleva intrínseca una reducción del número de accidentes automovilísticos. Esto se debe a que los patrones o conductas que lleva asociadas este tipo de sistemas promueven la prudencia y la conducción relajada, de forma que permite al usuario anticiparse a posibles imprevistos que puedan surgir en la carretera.

Además, la conducción eficiente tiene como beneficio una mejora del confort. Ante todo, es un estilo de conducción caracterizado por la tranquilidad de los usuarios, evitando el estrés al que se encuentran sometidos los conductores debido al tráfico, sobre todo en ciudad. Por ejemplo, evitar los acelerones y frenazos bruscos reduce la contaminación acústica causada por los motores. En la Figura 1.1 se muestra el efecto que tiene la conducción eficiente sobre el confort de los conductores, así como las consecuencias de un excesivo ruido del motor.

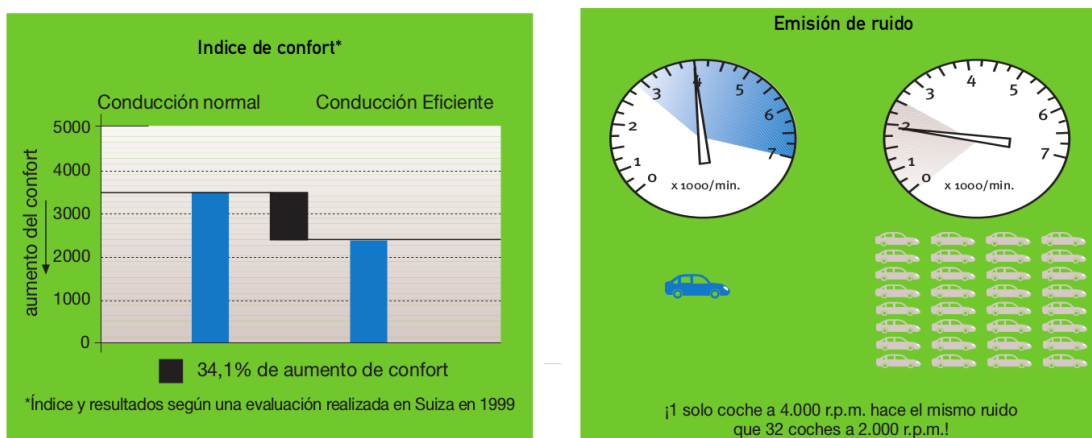


Figura 1.1: Efecto de la conducción eficiente sobre el confort y la contaminación acústica.

Por todo ello, se hace necesario el desarrollo de este asistente a la conducción eficiente que utilice el estado del vehículo y el smartphone para modelar el estilo de conducción del piloto desde el punto de vista del consumo de energía y generar consejos de conducción ecológica, capaces de corregir los hábitos de la conducción en tiempo real.

## 1.1. Estado del Arte

Esta sección tiene como objetivo explicar la bibliografía consultada más relevante para el desarrollo de la aplicación, si bien a lo largo de los próximos capítulos se mencionarán estas y otras fuentes consultadas.

En [2] se propone el desarrollo de una aplicación orientada a la conducción eficiente basándose en los acelerómetros y GPS del smartphone. Por esta razón, se comprueba el lugar idóneo para colocar el terminal, demostrándose posteriormente la necesidad de situarlo sobre el automóvil y no en el bolsillo del conductor. En el caso de la aplicación *OBDDrivingCoach* esto no supone ningún problema, pues los datos no se obtendrán del smartphone, sino directamente del sistema interno del vehículo. También se muestran los estándares de conducción eficiente para evaluar los arranques y los intervalos de aceleración, si bien sólo se establece un umbral que resulta muy restrictivo y poco exhaustivo.

Una de las fuentes de información más importante para el desarrollo del proyecto es [1]. Este documento propone una aplicación con la estructura mostrada en la Figura 1.2, muy similar a

la que se desarrolla en este Trabajo Fin de Grado, quedando dividida en tres capas: en la planta baja hay un bloque, llamado controlador de dispositivo, que se encarga de recoger el estado del vehículo (velocidad, aceleración, etc.) a través de sensores integrados en el teléfono inteligente (por ejemplo, GPS) y desde el bus CAN del vehículo. Los datos adquiridos serán utilizados para extraer características y estadísticas de conducción, útiles para clasificar la eficiencia del combustible del vehículo y el comportamiento del conductor. Por último, la interfaz gráfica ofrece al conductor los resultados de la evaluación de las prácticas, y sugiere, en tiempo real, algunos consejos para reducir el consumo de combustible.

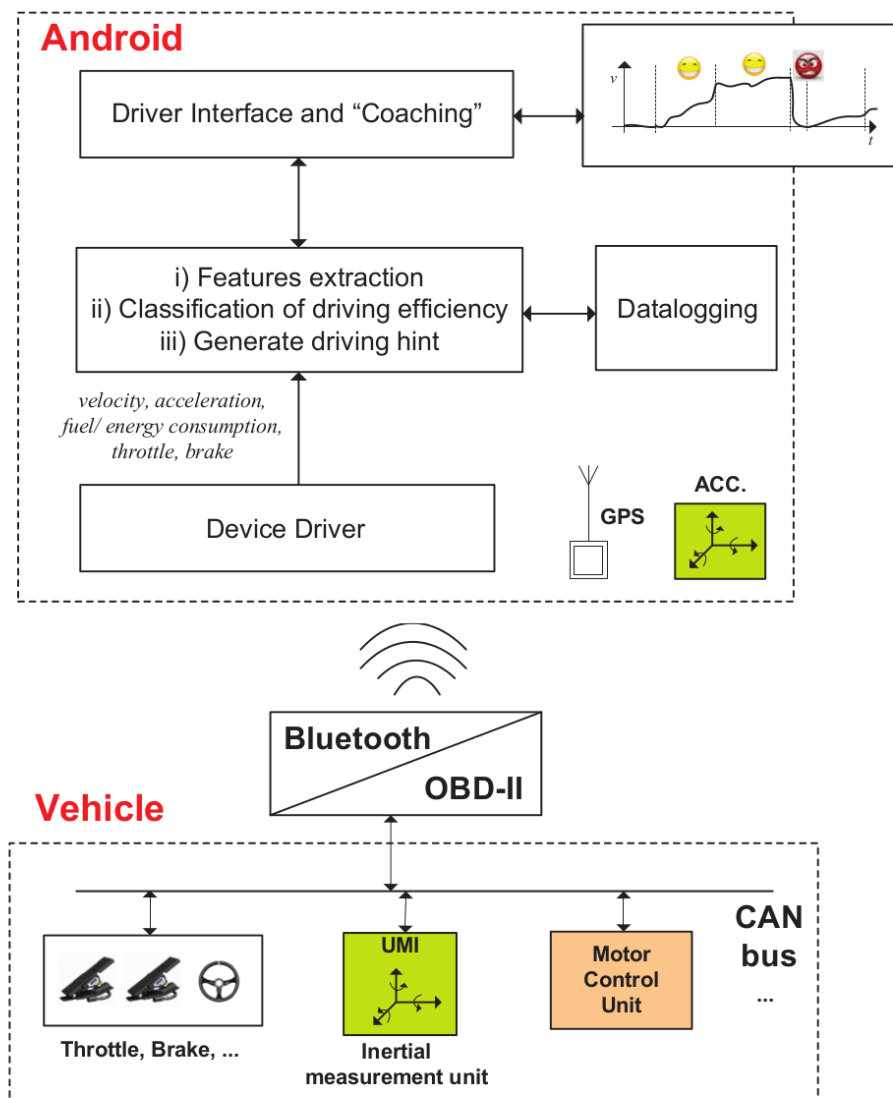


Figura 1.2: Diagrama de bloques de la aplicación propuesta en [1].

*OBDrivingCoach* difiere en muchos aspectos de esta propuesta. En primer lugar, se encuentra desarrollada para iPhone y no para Android, y el estado del vehículo se obtiene únicamente del bus CAN. No se han utilizado los sensores del smartphone para conseguir una aplicación factible en términos de autonomía y debido a la fiabilidad que tienen de por sí los datos del OBD-II. Además, la propuesta del paper sugiere la introducción por parte del usuario de los valores de consumo indicados por el fabricante, algo que se ha considerado innecesario en la nueva

aplicación, que trata de obtener un sistema lo más independiente posible del tipo de vehículo y en la que el usuario introduzca únicamente información de entrada a su alcance. Otro de los puntos fuertes es la existencia del servidor web en *OBDDrivingCoach*, algo que no se encuentra presente en el paper mencionado.

La fuente [3] evalúa el estilo de conducción del conductor desde el punto de vista del consumo de energía. Se asemeja a las propuestas anteriores: está desarrollada en Android, presenta variables del smartphone y del bus CAN, aunque añade información acerca del estado y las condiciones de la carretera.

Hasta ahora, ninguna de las propuestas evalúa la relación entre el comportamiento del conductor y el consumo de combustible que ello desencadena. Tampoco se habla acerca del impacto medioambiental que esto supone para la salud de la población. En [4], [5] y [6] se encuentran diversas formas de calcular el consumo de combustible, algo que resulta muy útil en todos aquellos vehículos con cierta antigüedad que no disponen de esta información en la consola central. Gracias a los estudios ya realizados que relacionan este consumo con la contaminación ([7], [8]) se podrá obtener información acerca de la huella medioambiental que provocan los usuarios como consecuencia de su conducción.

## 1.2. Objetivos

Los objetivos principales que se persiguen con este Trabajo de Fin de Grado son:

1. El primer objetivo consiste en la obtención del estado del vehículo a través del sistema OBD-II, que dotará a la aplicación de carácter generalista y económico.
2. Como segundo objetivo se propone la modulación de una serie de parámetros asociados a la conducción eficiente, así como la obtención del consumo y la contaminación emitida a la atmósfera.
3. En tercer lugar, se plantea el desarrollo de una interfaz de usuario básica, sencilla y fácilmente comprensible por cualquier usuario.
4. Por último, el cuarto objetivo es la inclusión de un servidor de datos web donde sea posible almacenar los datos más relevantes de los viajes.

## Capítulo 2

# Obtención del estado del vehículo. Sistema OBD

### 2.1. Introducción. Bus CAN

El estado del vehículo hace referencia al conjunto de variables necesarias para llevar a cabo el estudio que propone esta aplicación. Concretamente serán todos aquellos parámetros que nos ayuden a determinar la eficacia de la conducción, así como el consumo del automóvil y la cantidad de gases contaminantes emitidos a la atmósfera. La obtención de dichos valores se ha realizado a través del bus serie CAN (*Controller Area Network* [9]).

Este bus surgió a finales de los años 80, concretamente en 1982, debido al creciente número de dispositivos electrónicos y de cables conectados al vehículo. Con anterioridad, el número de dispositivos era muy limitado y la conexión se hacía de forma directa con un cable, por lo que la funcionalidad de este bus no era necesaria. Dentro de un automóvil, el bus CAN se encuentra conectado a infinidad de módulos electrónicos, entre los que se encuentran los elevalunas, el climatizador, el cierre centralizado, el techo solar, los asientos eléctricos, los mandos del volante o los sistemas multimedia.

El funcionamiento del bus CAN es sencillo: los dispositivos que se encuentran conectados al bus son capaces de mandar mensajes, y el resto de dispositivos escuchan. Cada tipo de mensaje lleva un identificador. Los oyentes deciden qué mensajes les interesan en base a dicho identificador. Para que la comunicación sea eficaz es imprescindible que los dispositivos se comuniquen por turnos, es decir, de uno en uno.

El alto grado de fiabilidad que se ha asignado a los datos proporcionados por este sistema se basa en que el bus CAN está diseñado de forma robusta y fiable, puesto que sus acometidos dentro del mundo automovilístico son muy importantes. Es por ello que se encuentra preparado para soportar las condiciones cambiantes del vehículo (temperatura, vibraciones), y sobre todo las interferencias causadas por el ruido electromagnético. El cable que se emplea para la comunicación es un par trenzado que minimiza los efectos de ruido. Cabe destacar que todos los datos son verificados por los oyentes del bus, siendo descartados en caso de que alguno detecte errores en la transmisión.

En cuanto a la velocidad del bus CAN, es capaz de alcanzar tasas de transmisión de hasta 1 Mbps. Sin embargo, en la práctica se ve reducida para evitar errores y varía entre los 125 y los 500 kbps.

De todas las funcionalidades que permite gestionar este bus, el dispositivo de interés es

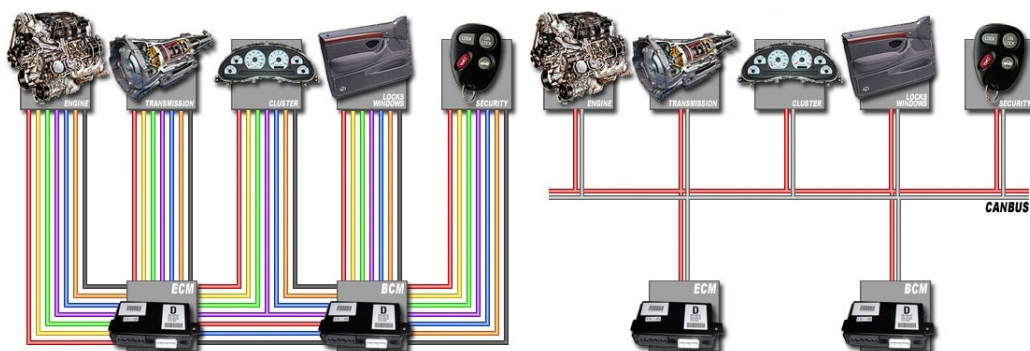


Figura 2.1: Comparativa entre la conexión interna de un automóvil sin bus CAN (izquierda) y con bus CAN (derecha)

el conector OBD, que proporciona servicios de diagnosis y toma de datos del vehículo. Este conector permite acceder a los buses CAN del automóvil, de forma que con un adaptador es posible de conectarse y obtener información del funcionamiento interno del vehículo en tiempo real a través de un ordenador, smartphone o similar. En el caso particular de *OBDrivingCoach*, la aplicación está desarrollada para dispositivos móviles con sistema operativo iOS (iPhone).

La comunicación a través del conector OBD se puede llevar a cabo a través de cuatro variantes de un mismo protocolo, que defieren entre sí en la longitud del identificador y/o la velocidad de transmisión. Se trata del protocolo ISO 15765-4 CAN, cuyas variantes se muestran en la Tabla 2.1.

Nº Protocolo	Velocidad (kbps)	Longitud del ID (bits)
1	500	11
2	500	29
3	250	11
4	250	29

Tabla 2.1: Variantes del protocolo ISO 15765-4 CAN

## 2.2. El sistema OBD

Hoy en día, los sistemas de diagnóstico a bordo (*On Board Diagnostic Systems, OBD* [10]) están presentes en la mayor parte de automóviles y camiones ligeros. Durante los años 70 y principios de los 80, los fabricantes comenzaron a utilizar dispositivos electrónicos para controlar las funciones del motor y diagnosticar problemas en el motor. Esto se debió a que debían cumplir con los estándares de emisiones que había impuesto la EPA (*Environmental Protection Agency* [11]). Conforme han transcurrido los años, estos sistemas se han vuelto cada vez más sofisticados. Actualmente se encuentra en vigor el estándar OBD-II, que fue introducido a mitad de los años 90 y permite controlar el motor, los dispositivos de otras partes del vehículo (chasis, carrocería, accesorios) y la red de control de diagnóstico del coche.

### 2.2.1. Breve historia

El origen de este tipo de sistemas se remonta a los años 60. Debido al problema de la contaminación automovilística en Los Ángeles, el estado de California empezó a exigir la implantación de sistemas de control de emisiones en 1966. Estos controles se extendieron a nivel nacional en 1968. Dos años más tarde, el Congreso aprobó la *Ley de Aire Limpio* y se formó la Agencia de Protección Ambiental (EPA). De esta forma, empezaron a surgir una serie de normas y requisitos de emisiones de gases contaminantes. Para cumplir con estos estándares los fabricantes recurrieron a controles electrónicos mediante sensores capaces de medir el rendimiento del motor y ajustar los sistemas para proporcionar la contaminación mínima. También servían como asistentes de diagnóstico del vehículo.

Al principio había pocas normas y cada fabricante tenía sus propios sistemas y señales, pero en 1988 la Sociedad de Ingenieros del Motor (SAE) estableció un conector estándar (OBD) y un conjunto de señales de prueba de diagnóstico. De hecho, la EPA adaptó muchos de sus estándares a las normas y recomendaciones de la SAE. OBD-II, el estándar actual, surgió como una ampliación del anterior y se puso en práctica por primera vez a principios de 1996.

### 2.2.2. Necesidad del sistema OBD

La Agencia de Protección Ambiental ha sido acusada de obligar a los fabricantes de automóviles y camiones a construir vehículos que cumplan unas normas de emisiones excesivamente estrictas. Además se les exige que estas normas sean satisfechas a lo largo de la vida útil completa del vehículo, no pudiendo degradarse aunque transcurran los años, lo cual supone un esfuerzo adicional por parte de los fabricantes. Independientemente de que las normas o implantación empleadas no sean las que desearían todos los contratantes del acuerdo, no cabe duda de que ha existido y existe la necesidad de reducir los niveles de contaminación emitidos por los vehículos en nuestras ciudades.

## 2.3. OBD en los automóviles

La elección del sistema OBD como método de obtención de variables para la aplicación se debe en gran parte a la universalidad del protocolo: todos los coches construidos desde el 1 de enero de 1996 cuentan con sistemas OBD-II. De hecho, ya en 1994 los fabricantes comenzaron a incorporarlo en varios modelos.

Hay cinco protocolos básicos de OBD-II en vigor (Tabla 2.2), cada uno con pequeñas variaciones en el patrón de comunicación entre el ordenador de a bordo y la consola o escáner. Si bien se han producido algunos cambios entre los protocolos utilizados por los fabricantes en los últimos años, por regla general los productos de *Chrysler*, de todas las importaciones europeas y de la mayor parte de importaciones asiáticas utiliza circuitos ISO 9141 o KWP2000. Por su parte, los automóviles de *General Motors* y camiones ligeros emplean SAE J1850 VPW (Ancho de Pulso Variable), y los de *Ford* utilizan SAE J1850 PWM (Modulación por Ancho de Pulsos). CAN es el protocolo que se ha agregado más recientemente a la especificación de OBD-II, y es obligatorio para todos los vehículos posteriores a 2008.

Nº Protocolo	Nombre
1	ISO 9141
2	KWP2000
3	SAE J1850 VPW
4	SAE J1850 PWM
5	CAN

Tabla 2.2: Protocolos compatibles con OBD-II

El adaptador empleado para la aplicación posee la capacidad de funcionar en cualquiera de los cinco protocolos mencionados.

### 2.3.1. Ubicación del conector OBD

El conector OBD se encuentra en prácticamente la totalidad de automóviles que circulan por las carreteras, pero varía su ubicación dentro del coche dependiendo del modelo. Estas son algunas de las posibles zonas donde podemos encontrarlo:

1. Al lazo izquierdo del reposapiés del conductor, es decir, cerca de la apertura del capó.
2. En la parte superior o inferior del reposapiés del conductor, debajo de la columna de dirección.
3. En el interior de la tapa situada justo a la izquierda del volante, semejante a una pequeña guantera. Esta tapa se encuentra presente en infinidad de modelos, como en el Renault 406.
4. En el interior de la guantera.
5. Debajo del volante.
6. En los reposapiés del lado del copiloto.
7. Debajo de los asientos del conductor o del copiloto. En este caso, suele llevar una tapa identificativa con las letras OBD.
8. En la consola central, justo delante del freno de mano.
9. Debajo del cenicero o del climatizador.
10. En el cenicero ubicado en la consola central, entre los asientos delanteros.
11. En el interior del capó.

Cabe destacar como caso particular la ubicación numerada como 11. Por lo general, el conector se encuentra dentro del capó en automóviles más antiguos, donde encontramos un conector anterior a OBD-II (OBD). Suele ser redondo y para su correcto conexionado es necesario emplear un adaptador. En algunos modelos incluso encontramos las dos variantes: por un lado el conector OBD-II dentro de la zona de conducción, y por otro el conector OBD en el interior del capó. Esta disposición es habitual en modelos *BMW*.





Figura 2.2: Ubicaciones más frecuentes del conector OBD dentro del automóvil



Figura 2.3: De izquierda a derecha: Ubicación 1 en *Peugeot 5008* y Ubicación 2 en *Citroen C1*



Figura 2.4: De izquierda a derecha: Ubicación 3 en *Peugeot Boxer 3* y Ubicación 4 en *Citroen Jumpy 3*

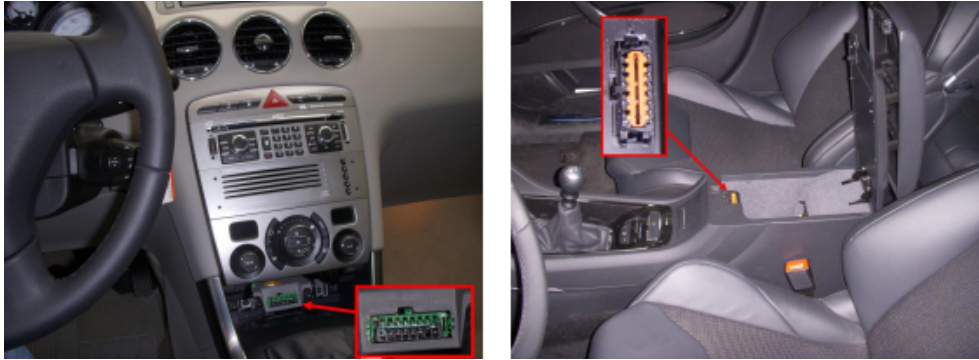


Figura 2.5: De izquierda a derecha: Ubicación 9 en *Peugeot 308* y Ubicación 10 en *Citroen C5*



Figura 2.6: Ejemplo de Ubicación 11 en *BMW 530D* y Adaptador de OBD a OBD-II

## 2.4. Hardware necesario

Existen ya en el mercado múltiples sistemas que llevan a cabo una funcionalidad similar a la que se propone en este Trabajo Fin de Grado. Sin embargo, la diferencia fundamental respecto a estas propuestas radica en los objetivos que se han perseguido, a saber: economicidad, estandarización y una correcta modelación [3].

1. Conseguir un sistema económico. Una de las prioridades fundamentales ha sido diseñar un asistente a la conducción lo más barato posible con el objetivo de estar al alcance de la mayor parte de economías y bolsillos. Muchas de las propuestas que ya existen están dirigidas únicamente al mercado de coches de alta gama.
2. Diseñar un sistema estándar, independiente de la antigüedad del turismo y del tipo de combustible utilizado (diésel o gasolina). Como ya se ha mencionado con anterioridad, el sistema que se propone puede ser utilizado en cualquier vehículo, puesto que todos ellos disponen de un conector OBD por ley. Este requisito no es satisfecho por asistentes a la conducción de determinados automóviles, que únicamente son diseñados de cara a una marca o modelo concreto.
3. Modelar correctamente de forma online el estilo de conducción del usuario para proporcionar consejos útiles. Con este fin el sistema de adquisición de datos obtendrá el valor de todas las variables que influyen en el consumo de energía y emisión de gases contaminantes.

Para cumplir con los tres principales objetivos de la aplicación se han seleccionado adecuadamente los elementos hardware, que se enumeran a continuación:

1. Puerto de diagnóstico OBD-II. Como ya se ha comentado con anterioridad, todos los vehículos fabricados a partir de 1996 poseen este puerto con el que se pueden obtener datos sobre las emisiones y fallos de diagnóstico de los vehículos. En nuestro caso, las pruebas se han llevado a cabo en los modelos *Seat Ibiza FR 2014 Diésel* y *Seat Ibiza FR 2014 Gasolina*, entre otros.
2. Adaptador WiFi OBD-II ELM327. Este adaptador permite la obtención de las variables de la conducción a tiempo real en dispositivos Apple (iPhone, iPad o iPod). Sin embargo, si deseáramos adaptar la aplicación al sistema operativo Android existen otros adaptadores Bluetooth. Por lo general, es un dispositivo muy económico que se puede adquirir en Internet por un precio de entre 10 y 30 euros. En la Tabla 2.3 encontramos los detalles técnicos más importantes del adaptador.

SSID	CLKDevices
Dirección IP	192.168.0.10
Subred	255.255.255.0
Puerto	35000
Alcance (m)	4.5
Consumo (W)	0.75
Estándar WiFi	802.111a/b/g
Dimensiones (cm)	7.0 x 3.2 x 3.0

Tabla 2.3: Características técnicas del Adaptador WiFi OBD2 ELM327



Figura 2.7: Aspecto físico del Adaptador WiFi OBD2 ELM327

3. Terminal iPhone. Para el desarrollo de la aplicación se ha empleado el modelo 4S, si bien la aplicación final posee compatibilidad con versiones anteriores y posteriores. Las causas que han promovido el diseño de la aplicación en el entorno Apple han sido la escasez de aplicaciones similares en este entorno, el auge de los smartphones y, sobre todo, que se trata de la plataforma utilizada en el grupo de investigación *Robesafe* para el desarrollo de las aplicaciones.

Relacionado con la primera de las causas, actualmente existen numerosas aplicaciones en el mercado que llevan a cabo un análisis del diagnóstico del automóvil, con una base común a la aplicación que se propone. Sin embargo, la mayor parte de ellas no son de carácter gratuito o no proporcionan exactamente el análisis que queremos realizar en este proyecto.

En cuanto al auge de los smartphones, estudios recientes [12] demostraron que en 2014 se vendieron más de 1200 millones en todo el mundo (un 28,4 % más que el año anterior). Este hecho demuestra que a día de hoy una inmensa mayoría de la población posee un teléfono móvil, por lo que es un elemento del hardware que ya se posee previamente y en el que no hay que invertir para acceder a la aplicación desarrollada. Este mismo estudio concluyó que las ventas de los terminales iPhone superaron a las de la marca Samsung durante el último cuatrimestre de 2014 (aproximadamente 75 millones de terminales frente a los 73 de Samsung, su principal competidor).

Independientemente de que la aplicación se haya desarrollado para iPhone, resulta evidente que los smartphones con sistema operativo Android suelen ser más económicos, por lo que se valora la posibilidad de desarrollar la portabilidad en ese sistema operativo como objetivo futuro. De hecho, la suma de todas las marcas que trabajan con Android conforman 1.004 millones de unidades vendidas en 2014, seguido de iOS (191 millones).

Dentro de las características que posee el terminal móvil, los requisitos mínimos que necesita la aplicación para llevar a cabo su funcionalidad son: conectividad WiFi, conectividad GPRS/3G/LTE/4G y altavoces con sonido activo.

La conectividad WiFi permitirá mantener una conexión permanente con el conector OBD-II para enviar y recibir información, con un funcionamiento que se detallará más adelante. Por su parte, la conectividad GPRS/3G/LTE/4G será necesaria para enviar al servidor web las estadísticas y variables más relevantes al final de cada viaje. Por último, los altavoces han de tener el sonido activo para que el conductor sea capaz de escuchar los consejos en

tiempo real que proporciona la aplicación. Estos consejos también aparecen en la pantalla, pero se considera prioritario que el conductor no deje de prestar atención a la carretera.

## 2.5. Funcionamiento

Tal y como aparece en [3], el sistema de comunicación que se establece entre el smartphone y el sistema OBD se basa en los denominados OBD-II PIDs (Identificadores de Parámetros de Diagnóstico a Bordo [13]), unos códigos en formato hexadecimal que permiten solicitar datos a los vehículos. Cada variable lleva asociado un código único universal. Por ejemplo, si se desea conocer la velocidad actual del vehículo, se debe solicitar por software el PID 0x0D. La norma SAE-J de 1979 define infinidad de PIDs, y los fabricantes también pueden definir algunos propios específicos para sus vehículos. La aplicación se centrará en los PIDs comunes a todos los automóviles.

Existen diez modos de funcionamiento según la última J1979 SAE estándar OBD-II. Este estudio se basará en el primero de ellos, que sencillamente devuelve los valores actuales de las variables que se soliciten a través de los PIDs.

La aplicación captura datos a una frecuencia de 1 Hz, es decir, cada segundo se obtiene un valor actualizado de cada una de las variables. Se trata de un periodo de refresco adecuado para lo que se necesita, ya que es el tiempo suficiente para sugerir consejos al conductor en tiempo real y no saturar las variables con valores correlativos excesivamente parecidos entre sí.

Por lo tanto, una vez por segundo el smartphone y el bus OBD-II se comunican entre sí para leer cada una de las variables. Los pasos que se desencadenan se enumeran a continuación:

1. El dispositivo móvil envía un PID al adaptador WiFi. Previamente el iPhone ha establecido una conexión con la red CLKDevices creada por el adaptador.
2. El adaptador WiFi envía el PID al bus del vehículo (bus CAN generalmente).



Figura 2.8: Comunicación entre el iPhone y el puerto OBD-II

3. El dispositivo correspondiente del bus, que se encuentra “escuchando” los códigos que llegan, reconoce su PID y envía el valor actual para ese PID al bus CAN.
4. El adaptador WiFi, que también se encuentra “escuchando” una posible respuesta a su petición, lee el valor recibido y lo envía al dispositivo móvil.



## 2.6. Variables

El modo 1 del protocolo OBD-II es capaz de proporcionar alrededor de 140 variables diferentes [13]. Sin embargo, tras las pruebas realizadas y los resultados obtenidos, el estudio se ha limitado a los datos que aparecen en la Tabla 2.4.

PID (hex)	Descripción	Valor mín.	Valor máx.	Unidades	Bytes
04	Carga del motor	0	100	%	1
0C	Revoluciones por minuto del motor	0	16.383,75	rpm	2
0D	Velocidad del vehículo	0	255	km/h	1
10	Velocidad del Flujo de Masa de Aire (MAF)	0	655,35	gramos/seg	2
1F	Tiempo desde el arranque del motor	0	65.535	seg	2
23	Presión del carril de combustible	0	655.350	kPa	2

Tabla 2.4: PIDs de interés para la aplicación

La razón por la que se han seleccionado estas variables concretas se basa en el uso que se les ha dado a posteriori para evaluar el consumo o emisión de gases contaminantes, desarrollar el módulo de consejos online o bien obtener variables adicionales mediante el tratamiento de algunas iniciales. A continuación se justifica la elección de cada uno de los datos de entrada del OBD-II.

La carga del motor es un valor de gran utilidad a la hora de detectar los cambios de marcha, como se detallará más adelante. Así mismo, permite evaluar el consumo de combustible (litros utilizados por cada 100 kilómetros recorridos), pues forma parte de la ecuación necesaria para calcular dicho valor. En cuanto a las revoluciones por minuto del motor, permiten conocer cuándo es necesario efectuar un cambio de marcha ascendente o descendente para el módulo de consejos, siendo diferentes para el caso de diésel y gasolina los umbrales de cambio.

La velocidad del vehículo constituye una variable imprescindible que debe ser evaluada con múltiples objetivos: obtención de la aceleración mediante la derivada de la velocidad respecto del tiempo, cálculo del consumo del automóvil, establecimiento de un límite superior para sugerir un ahorro de combustible en carreteras nacionales o secundarias, etc. Por su parte, la velocidad del flujo de masa de aire (MAF) tiene un sólo cometido: el cálculo del consumo de combustible.

La elección de la siguiente variable, correspondiente al tiempo transcurrido desde que se arranca el motor, se ve justificada porque nos permite calcular la aceleración, como ya se ha indicado, y permite añadir un consejo que indique al usuario la necesidad de apagar el motor si se encuentra un determinado tiempo arrancado. Por último, la presión del carril de combustible posee una finalidad idéntica a la de la velocidad del flujo de masa de aire: el cálculo del consumo de diésel o gasolina.

## 2.7. Software inicial. Aplicación BasicScan

La comunicación entre el terminal móvil y el sistema OBD-II requiere un software básico que permita enviar y recibir datos del OBD-II. En este caso, se ha utilizado la aplicación de partida *BasicScan*, que básicamente permite leer las variables deseadas del bus CAN del automóvil. A continuación se resume a grandes rasgos el funcionamiento de la misma:

1. En primer lugar, la aplicación comprueba que la conexión WiFi se encuentra activa y establece la dirección IP y el puerto de búsqueda, en este caso 192.168.0.10 y 35000, respectivamente.
2. A continuación, la función *setSensorScanTargets* y la función *initScanTool* almacenan un array de objetos que contienen los PIDs que se desean leer del OBD-II. Para la aplicación *OBDrivingCoach* se demandan seis distintos, correspondientes a las seis variables de interés.
3. Posteriormente, la función *runStreams* recorre un bucle con los diferentes PIDs que se desean, leyendo la dirección de memoria donde se encuentra del sistema, la longitud en bytes de la variable y el protocolo de lectura (en este caso CAN de 11 bits a 500 kbps). A medida que pasa por cada PID, se va almacenando en la variable correspondiente la respuesta que proporciona el vehículo.
4. Por último, la función *FLScanToolResponse* lee el array de respuestas que le llega desde el OBD-II. En este momento se tratan los datos y se realizan los cálculos necesarios desde el programa principal.
5. Los pasos 3 y 4 se repiten constantemente hasta que la aplicación se detiene.

Cabe remarcar que no se ha estudiado el más bajo nivel de la aplicación, por lo que esta descripción se encuentra muy simplificada. En el programa se evalúan gran cantidad de funciones extra para conseguir la lectura de datos.





## Capítulo 3

# Estudio sobre la eficiencia de la conducción

### 3.1. Tratamiento de la información

Antes de operar con las variables proporcionadas por el protocolo OBD-II es necesario efectuar un tratamiento previo sobre los datos obtenidos. Por un lado, existe la necesidad de convertir todas las variables a las unidades adecuadas. Además, nuevas variables han de ser calculadas a partir de las originales, concretamente la aceleración.

Por lo general, el sistema OBD-II devuelve las variables en unidades del sistema internacional. Sin embargo, existen algunas de ellas que no aparecen en las unidades que deseamos y debemos llevar a cabo una conversión previa. Es el caso de la velocidad del vehículo, la velocidad del flujo de masa de aire (MAF) y la presión del carril de combustible.

En las Ecuaciones 3.1, 3.2 y 3.3 se observan las conversiones oportunas: la velocidad del vehículo de millas por hora a metros por segundo, la velocidad del flujo de masa de aire de libras por minuto a gramos por segundo, y la presión del carril de combustible de pulgadas de mercurio a kilopascales.

$$speed(i)[m/s] = speed(i)[mil/h] \cdot 0,44704 \quad (3.1)$$

$$maf(i)[g/s] = maf(i)[lib/min] \cdot \frac{1000}{132} \quad (3.2)$$

$$pressure(i)[kPa] = pressure(i)[inHg] \cdot 3,386 \quad (3.3)$$

Aunque se trate de una cuestión trivial, es interesante recordar que en un automóvil la velocidad no es constante a lo largo del tiempo. Este hecho provoca la aparición de una componente no nula de aceleración que habrá que calcular para valorar el grado de eficiencia de la conducción. Para ello, se aplicará uno de los principios fundamentales de la cinemática referido al Movimiento Rectilíneo Uniformemente Acelerado (MRUA).

Este tipo de movimiento se caracteriza porque la velocidad varía a lo largo del tiempo, es decir, existe un valor constante de aceleración. Para este caso de estudio se aplicará la fórmula que permite el cálculo de dicho valor, pero teniendo en cuenta que la aceleración no será constante, sino que también irá variando a lo largo del tiempo. Por poner un ejemplo representativo,

únicamente se estaría ante un MRUA puro si el cambio de velocidad fuera completamente uniforme y no se produjera ningún tipo de aceleración o frenada repentino, inevitable en la práctica de la conducción.

Dicho esto, y sabiendo que según la Tabla 2.4 el sistema OBD-II proporciona los valores instantáneos de velocidad y tiempo, se hallará la aceleración instantánea mediante la derivada de la velocidad respecto del tiempo. Su cálculo queda reflejado en la ecuación 3.4, donde la aceleración se mide en  $m/s^2$ .

$$a(i) = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{s(i) - s(i-1)}{t(i) - t(i-1)} \quad (3.4)$$

donde  $t$ ,  $s$  y  $a$  representan el tiempo desde que el motor arrancó, la velocidad y la aceleración, respectivamente;  $i$  es el índice para recorrer las muestras adquiridas

Para la simplificación de las ecuaciones que siguen a lo largo del proyecto se utilizará la nomenclatura que aparece en la Tabla 3.1, con las iniciales de las variables en inglés.

Variable	Nomenclatura
Carga del motor	l(i)
Revoluciones por minuto	r(i)
Velocidad del vehículo	s(i)
Velocidad del MAF	maf(i)
Tiempo	t(i)
Presión	p(i)

Tabla 3.1: Nomenclatura de las variables proporcionadas por OBD-II

## 3.2. Evaluación de criterios relacionados con la conducción eficiente

### 3.2.1. Introducción

Esta sección se va a centrar en uno de los módulos fundamentales de la aplicación *OBDri-vingCoach*. Una vez extraídas las variables del OBD-II y tratadas para su posterior análisis, se procede al estudio de las mismas para determinar qué grado de eficiencia ha conseguido el usuario con su estilo de conducción. Esto servirá para que en futuros viajes el usuario pueda corregir aquellas conductas que no han contribuido al ahorro de combustible.

En primer lugar, se van a definir las directrices que se aconsejan desde la bibliografía consultada ([14], [15], [16]) para conducir de forma eficiente. Algunas de ellas no son fácilmente implementables a través de variables numéricas y dependen en gran medida de la actitud del usuario, pero se presupone que si ha decidido emplear esta aplicación su conducta será acorde a lo que se propone.

1. El arranque del motor debe producirse sin pisar el acelerador. En cuanto a la puesta en marcha, depende del tipo de vehículo: si el motor es turboalimentado se debe esperar unos segundos antes de iniciar la marcha, mientras que si no dispone de turbo es aconsejable acelerar al arrancar el motor. El turbo es una característica intrínseca al automóvil fuera del alcance del OBD-II, por lo que debe ser el usuario quien considere en qué momento debe comenzar la marcha.

2. El uso de la primera marcha debe limitarse únicamente al inicio, aumentando rápidamente a la siguiente. Este aspecto se valorará más adelante en los cambios de marcha y la aceleración de arranque.
3. Los cambios de marcha deben hacerse pronto y de forma ágil. Según las revoluciones, las distintas fuentes de la bibliografía discrepan entre sí. En [1] y [2] se aconseja el cambio antes de las 2500 y 2000 revoluciones por minuto en gasolina y diésel, respectivamente. Por su parte, [15] y [16] establecen dichos valores en 2000 y 1500. Esta discrepancia será resuelta más adelante tras haber realizado pruebas de corroboración.

También se propone establecer el cambio de marcha según la velocidad del vehículo, como aparece en la Tabla 3.2. Sin embargo, este parámetro varía con mayor fuerza entre unos turismos y otros, por lo que se ha decidido seguir el primer criterio, referido a las revoluciones por minuto.

Marcha	Velocidad aproximada (km/h)
2 <sup>a</sup>	20
3 <sup>a</sup>	30
4 <sup>a</sup>	40
5 <sup>a</sup>	50

Tabla 3.2: Velocidad aproximada a la que se debe cambiar de marcha

4. La conducción más eficiente se consigue en las marchas más largas y a bajas revoluciones. Tanto es así, que es preferible circular en marchas largas con el acelerador menos pisado que en marchas cortas con el acelerador pisado a fondo. Por tanto, se deben utilizar siempre que se pueda las últimas marchas, respetando los límites de velocidad. Este aspecto se engloba también dentro del estudio de los cambios de marcha.  
Como se observa en la Figura 3.1, el consumo desciende fuertemente conforme se conduce en marchas más elevadas, por lo que conviene alcanzarlas lo antes posible. La Figura 3.2 pone de manifiesto que la misma velocidad supone un consumo mucho mayor en la tercera marcha que en superiores.
5. En cuanto a la velocidad de circulación, se debe mantener lo más uniforme posible, evitando aceleraciones y frenazos excesivos. Las aceleraciones y deceleraciones deben ser lo más suaves posibles. Esta conducta es evaluada por separado con un criterio para cada una de las acciones.
6. Se debe detener el coche sin reducir previamente la marcha siempre que las condiciones lo permitan. Este aspecto no es posible evaluarlo, si bien la aplicación aconseja al conductor no disminuir en exceso la revolución del motor para no correr riesgo de que éste se detenga repentinamente.
7. En paradas prolongadas (de más de sesenta segundos) se aconseja apagar el motor del coche. Esto es debido a que el automóvil consume aproximadamente 0,5-0,8 litros/hora en reposo, y conviene evitarlo. La aplicación también lo tiene en cuenta y alerta al conductor sobre ello.
8. Por último, se debe conducir siempre con una adecuada distancia de seguridad y un amplio campo de visión. Esto permitirá al conductor tener capacidad de reacción ante un imprevisto, como puede ser un obstáculo o accidente. Estamos ante otro caso de conducta intrínseca al conductor que no es posible evaluar con el sistema disponible.

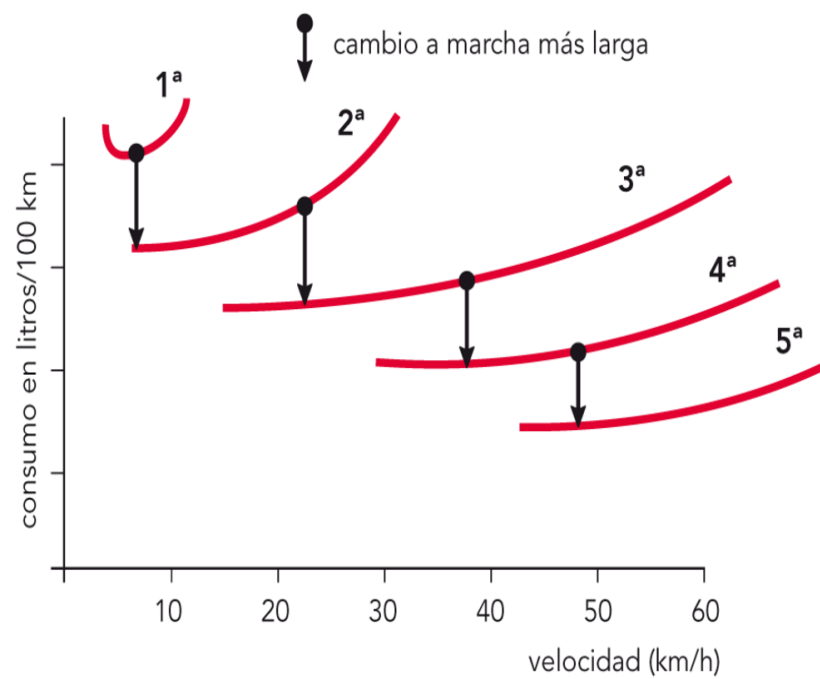


Figura 3.1: Influencia de los cambios de marcha sobre el consumo del automóvil

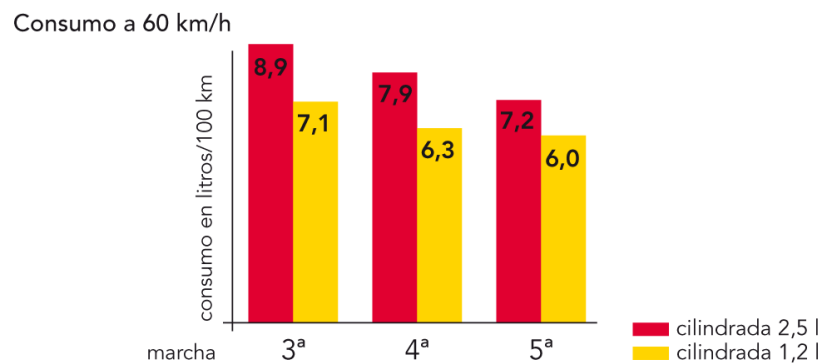


Figura 3.2: Consumo de un automóvil a la misma velocidad en diferentes marchas

### 3.2.2. Estudio de los cambios de marcha

Los aumentos o disminuciones de marcha no constituyen una variable trivial que se pueda calcular directamente del OBD-II, sino que hay que tratar de encontrar cuándo se producen a partir de las variables de que disponemos. En [1] se propone considerar la derivada discreta de la señal  $r(i)$  (revoluciones por minuto) como sigue:

$$dr(i) = \frac{\Delta r}{\Delta t} = \frac{r(i) - r(i-1)}{t(i) - t(i-1)} \quad (3.5)$$

Es bien conocido que en los cambios de marcha se produce una discontinuidad en la señal  $r(i)$ , es decir,  $dr(i)$  tomará valores muy elevados. Por tanto, se propone la detección de cambios de marcha como aparece en la Ecuación 3.11.

$$gearshifts(i) = \begin{cases} 1 & \text{if } dr(i-1) < -\Delta r \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3.6)$$

donde  $gearshifts(i)$  es la variable de cambios de marcha y  $\Delta r$  es una constante (500 rpm).

Para comprobar la eficacia de esta propuesta se han llevado a cabo varias pruebas con el automóvil. La conclusión ha sido que este método presenta muchas desventajas a la hora de detectar los cambios de marcha, las cuales radican en la variación de la frecuencia de muestras del OBD-II y la imprecisión del umbral  $\Delta r$ .

La frecuencia teórica que devuelve OBD-II en la aplicación es de 1 Hz, como se comentó en capítulos anteriores. No obstante, a la hora de capturar valores se produce una variación de la misma en el rango [0,5-1] Hz. Este hecho provoca que el espacio entre muestras esté comprendido en un rango de [1-2] segundos. Como consecuencia, en ocasiones no es posible obtener valores en el momento exacto en que se produce el cambio de marcha.

Por otro lado, el hecho de fijar un umbral con  $\Delta r$  de 500 rpm da lugar a que no se detecten algunos cambios de marcha. Se puede optar por reducir este valor a 250 rpm, pero en este caso se detectan algunas discontinuidades en la señal  $r(i)$  que no se corresponden con cambios de marcha reales.

En definitiva, se propone otro método para la detección de estos eventos. Para la aplicación únicamente se evaluarán los cambios de marcha ascendentes, puesto que es determinante la revolución a la que circula el turismo cuando éstos se producen, no así en los cambios de marcha descendentes. Por lo tanto, las condiciones que se imponen son:

- La aceleración en el instante del cambio debe ser positiva. De esta forma el cambio de marcha será, en principio, ascendente.

$$a(i) > 0 \quad (3.7)$$

- Las revoluciones por minuto deben tener un valor mínimo. Se considerará improbable que se produzca un cambio de marcha en torno a las 1000 rpm.

$$r(i) > r_{low} + 250 \quad (3.8)$$

donde  $r_{low}$  es una constante de valor 1000 rpm.

- La señal de rpm debe tener un máximo en el momento del cambio, debido a la discontinuidad que se tiene en cuenta de la propuesta de [1].

$$r(i-1) < r(i), r(i) > r(i+1) + 100 \quad (3.9)$$

- En la señal de carga del motor aparece un mínimo, puesto que se libera el pedal del acelerador para cambiar de marcha. Tras la realización práctica se ha observado que si la conducción es muy brusca, el sistema OBD-II puede no detectar exactamente el momento del aumento de marcha, como ya se comentó, por lo que también se considerará el caso en que aparezca un máximo en la carga del motor. Esto ocurre por ejemplo si detecta el cambio de marcha de forma tardía, cuando el valor de las revoluciones ya ha superado el mínimo y vuelve a tomar valores más altos.

$$\begin{cases} l(i) < l(i-1), l(i) < l(i+1) \\ o \\ l(i) > l(i-1), l(i) > l(i+1) \end{cases} \quad (3.10)$$

Esta última consideración no aparece reflejada en ninguna de las fuentes consultadas, y permite conocer correctamente cuándo se producen los cambios de marcha.

Se define por tanto la señal de cambios como:

$$gearshifts(i) = \begin{cases} 1 & \text{if 3.7, 3.8, 3.9 y 3.10 are satisfied} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3.11)$$

Una vez localizados los cambios de marcha en la base de datos del viaje, el siguiente paso es evaluar el grado de eficacia de los mismos en base a las revoluciones por minuto en esos instantes concretos. Como ya se comentaba anteriormente, existe una discrepancia entre los valores adecuados a los que debe aumentarse la marcha.

Para despejar esta incógnita se procedió a realizar diversas pruebas en los automóviles disponibles, prestando especial atención a los momentos en que el ordenador de a bordo recomendaba efectuar los cambios de marcha. Se observó que en el turismo de monitorización diésel el valor de cambio rondaba las 2000 rpm, mientras que en el de gasolina las 2500 rpm.

Por tanto, teniendo en cuenta estos valores se define la eficacia de los cambios de marcha como:

$$gearshifts\_efficiency(i) = \begin{cases} 1 & \text{if } r(i) < r\_high \\ \frac{(r\_high+250)-r(i)}{250} & \text{if } r\_high < r(i) < r\_high + 250 \\ 0 & \text{if } r(i) > (r\_high + 250) \end{cases} \quad (3.12)$$

La finalidad de la variable *gearshifts\_efficiency* presente en la Ecuación 3.12 es valorar cómo de adecuado ha sido el cambio efectuado en el momento *i*. Esta variable toma valores entre 0 y 1, siendo 0 un cambio ineficiente y 1 un cambio que cumple totalmente con los requisitos de eficiencia.

Como umbral de clasificación se ha utilizado la constante *r\_high*, cuyo valor es 2000 rpm en diésel y 2500 rpm en gasolina, como ya se indicó:

- Si el coche circula con un valor de revoluciones inferior al umbral, la eficacia es máxima (1).
- Si circula con un valor superior al umbral, pero dentro de un margen de 250 rpm, la eficacia es intermedia (entre 0 y 1).
- Si circula con un valor superior al margen de 250 rpm, la eficacia es nula (0).

Conocidos en detalle todos y cada uno de los cambios de marcha ascendentes del viaje, el último paso es efectuar un promedio de todos ellos y obtener un criterio de eficacia referido a los mismos. En la ecuación 3.13 se puede ver de forma numérica.

$$gearshifts\_criteria = \frac{\sum_{i=1}^{i_{max}} gearshifts\_eficiency(i)}{\sum_{i=1}^{i_{max}} gearshifts(i)} \quad (3.13)$$

### 3.2.3. Estudio de los arranques

Para la evaluación de los inicios de marcha del automóvil se considerarán las normas para la conducción eficiente propuestas en [2]. Según esta fuente, el estándar que reduce eficazmente el consumo de energía en el inicio de un vehículo mediante un arranque suave se define así:

*“Se deben emplear más de 5 segundos para alcanzar los 20 km/h al iniciar la marcha”*

El estándar mencionado equivale a decir que en el arranque, la aceleración no debe superar un valor de  $1,11 \text{ m/s}^2$ . Con las variables obtenidas del OBD-II es sencillo evaluar este criterio, pues se dispone de la aceleración instantánea  $a(i)$ . Por tanto, resulta imprescindible calcular cuándo se producen los arranques.

$$i_{starter} = i \text{ if } s(i-1) = 0, s(i) > 0 \quad (3.14)$$

Una vez localizada la muestra donde comienza el arranque se debe evaluar durante 5 segundos la aceleración, considerando el valor más alto de la misma en ese periodo.

$$a\_max_{starter} = \max\{a(i_{starter}), a(i_{starter} + 1), a(i_{starter} + 2), \dots\}_{\Delta t} \quad (3.15)$$

*tal que  $\Delta t = 5$  segundos*

Una vez calculada, se considerarán eficientes aquellos arranques donde no se supere el umbral establecido por el estándar.

$$starter(i) = \begin{cases} 1 & \text{if } a\_max_{starter} < a\_low \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3.16)$$

Sin embargo, esta manera de evaluar la eficacia de los arranques con un único umbral de aceleración resulta muy simple. Además, las pruebas realizadas con el automóvil indican que se trata de un valor muy restrictivo. Por esta razón, se trató de encontrar y justificar un segundo umbral que permitiera evaluar de forma más exhaustiva los arranques.

Así las cosas, se encontró que [1] sugería como valor límite de aceleración  $2 \text{ m/s}^2$  y se decidió implementar una evaluación intermedia entre los umbrales propuestos por las dos fuentes. De forma similar a la evaluación de la revolución del motor o cambios de marcha, surge la Ecuación 4.2.

$$starter\_eficiency(i) = \begin{cases} 1 & \text{if } a\_max_{starter} < a\_low \\ \frac{a\_high - a\_max_{starter}}{a\_high - a\_low} & \text{if } a\_low < a\_max_{starter} < a\_high \\ 0 & \text{if } a\_max_{starter} > a\_high \end{cases} \quad (3.17)$$

donde  $a\_low$  es  $1.11 \text{ m/s}^2$  y  $a\_high$  toma un valor de  $2 \text{ m/s}^2$

La función de evaluación por tanto consta de tres partes, cuyo significado ya se justificó en la ecuación 3.12, muy similar matemáticamente.

Una vez hallados los arranques y su eficacia, es posible evaluar este criterio 3.18 como el promedio de todas las muestras calculadas.

$$starter\_criteria = \frac{\sum_{i=1}^{i_{max}} starter\_efficiency(i)}{\sum_{i=1}^{i_{max}} starter(i)} \quad (3.18)$$

### 3.2.4. Estudio de los intervalos de aceleración

En el apartado anterior se explicaban los umbrales empleados para clasificar el grado de eficiencia durante los arranques del automóvil. Como se indica en [2], existe una forma muy similar de evaluar aquellos momentos en que el conductor se encuentra acelerando. Se trata de considerar igualmente intervalos de 5 segundos donde la aceleración sea positiva, y calcular el valor máximo de aceleración durante ese periodo. En la Ecuación 3.22 se implementa la función para  $j$  intervalos de tiempo.

$$a\_max_{acceleration}(j) = max\{a(i), a(i+1), a(i+2), \dots\}_{\Delta T} \quad (3.19)$$

*tal que  $a(i) > 0$  y  $\Delta T = 5$  segundos*

Análogamente a lo calculado para los arranques del motor (Ecuación 4.2), se evalúa el grado de conducción eficiente manteniendo los umbrales anteriores. En la ecuación 3.20 aparece reflejado de forma numérica.

$$acceleration\_efficiency(j) = \begin{cases} 1 & \text{if } a\_max_{acceleration}(j) < a\_low \\ \frac{a\_high - a\_max_{acceleration}(j)}{a\_high - a\_low} & \text{if } a\_low < a\_max_{acceleration}(j) < a\_high \\ 0 & \text{if } a\_max_{acceleration}(j) > a\_high \end{cases} \quad (3.20)$$

donde  $r\_low$  es  $1.11 \text{ m/s}^2$  y  $r\_high$  toma un valor de  $2 \text{ m/s}^2$

Tras evaluar los intervalos de aceleración y su eficiencia, establecemos un nuevo criterio 3.21, donde se divide la eficiencia de cada intervalo entre el número de intervalos totales.

$$acceleration\_criteria = \frac{\sum_{j=1}^{j_{max}} acceleration\_efficiency(j)}{j\_max} \quad (3.21)$$

### 3.2.5. Estudio de los intervalos de frenada

La uniformidad de la conducción se basa en la aparición del mínimo número de cambios bruscos de aceleración y frenada. Para evaluar esta última se procederá de forma similar al apartado anterior, pero considerando aquellos intervalos donde aparece deceleración. Al producirse un cambio de signo en la variable de aceleración, se buscan valores mínimos de la misma.

$$a\_min_{braking}(k) = min\{a(i), a(i+1), a(i+2), \dots\}_{\Delta T} \quad (3.22)$$

*tal que  $a(i) < 0$  y  $\Delta T = 5$  segundos*



Siguiendo la metodología empleada hasta ahora, la siguiente fase es el establecimiento de los umbrales de clasificación. En [1] se sugiere un valor límite de  $-3 \text{ m/s}^2$ . Como ocurría en el caso de los arranques e intervalos de aceleración, se ha buscado un segundo umbral que permita llevar a cabo un estudio más preciso.

Al no encontrar dicho valor en la bibliografía, se ha recurrido a la aplicación práctica en el automóvil y observación de los valores de aceleración obtenidos con conductas agresivas de deceleración. A la vista de los resultados, se ha decidido establecer dos umbrales de valor  $-2$  y  $-4 \text{ m/s}^2$ , que penalizan a aquellos conductores que efectúan frenadas muy pronunciadas. Numéricamente, la implementación aparece en la Ecuación 3.23.

$$braking\_efficiency(k) = \begin{cases} 1 & \text{if } a_{minbraking}(k) > b_{low} \\ \frac{b_{high} - a_{minbraking}(k)}{b_{high} - b_{low}} & \text{if } b_{high} < a_{minbraking}(k) < b_{low} \\ 0 & \text{if } a_{minfrenando}(k) < b_{high} \end{cases} \quad (3.23)$$

donde  $b_{low}$  (umbral de frenada bajo) toma el valor de  $-2 \text{ m/s}^2$  y  $b_{high}$  (umbral de frenada alto),  $-4 \text{ m/s}^2$

Como ocurría en estudios anteriores, se obtiene el criterio de frenada como el cociente entre el ratio de eficacia de los intervalos entre el número de intervalos totales, en este caso de deceleración.

$$braking\_criteria = \frac{\sum_{k=1}^{k_{max}} braking\_efficiency(k)}{k_{max}} \quad (3.24)$$

### 3.2.6. Estudio final

En la bibliografía consultada se proponen distintos métodos para evaluar los aspectos tratados. No obstante, no se ha encontrado un criterio de clasificación donde se concrete cuál de ellos es más relevante para la conducción. Por tanto, se propone un promediado entre todos los valores conseguidos a modo de resumen o calificación final.

$$final\_criteria = \frac{gearshifts\_crit + starter\_crit + acceleration\_crit + braking\_crit}{4} \quad (3.25)$$

Dejando a un lado este último valor, siempre resultará más útil para el usuario consultar cada uno de los criterios por separado, con el objetivo de conocer en qué aspecto pueden tratar de mejorar su conducta durante un viaje en automóvil. Este valor únicamente se concibe como una puntuación final orientativa para el conductor.

## 3.3. Cálculo del consumo y de la contaminación emitida

La conducción eficiente constituye uno de los pilares básicos sobre los que se sustenta esta aplicación. Asociados a ella se encuentran infinidad de indicadores, entre los que destaca especialmente el consumo de combustible. En esta sección se expone el proceso que se ha llevado a cabo para el cálculo de esta variable, así como para el cálculo de la contaminación emitida a la atmósfera asociada al mismo.

### 3.3.1. Consumo del automóvil

Según datos de la Asociación Española de Fabricantes de Automóviles y Camiones (ANFAC) [17], el consumo medio de combustible de los nuevos automóviles matriculados en España durante el año 2013 se situó en los 4,8 litros por cada cien kilómetros. Sin duda es una cifra destacable, pues el consumo se sitúa por primera vez por debajo de los 5 litros por cada 100 kilómetros.

No obstante, la inmensa mayoría de la población conduce un vehículo con prestaciones previas a las del estudio, por lo que el consumo general es superior al que marca la estadística. De hecho, muchos de ellos ni siquiera poseen un indicador de consumo medio o instantáneo en el turismo, pero desearían conocer dichas variables para mejorar sus hábitos en la conducción. *OBDivingCoach* supone una fuente de información para todos estos usuarios.

En [4] se habla acerca de los posibles métodos para hallar el consumo de combustible. Uno de ellos consiste en evaluarlo directamente a partir de un PID que proporciona el OBD, pero son muy poco frecuentes los vehículos que disponen de esta opción. El otro consiste en emplear información acerca del flujo de aire de admisión.

Esta información es obtenida del OBD a partir de la velocidad del flujo de masa de aire (MAF rate). Habitualmente este parámetro se encuentra disponible en los vehículos diésel y en algunos de gasolina, e informa acerca del volumen y densidad de aire que entra al motor por unidad de tiempo.

Para obtener la ecuación que proporciona el consumo instantáneo hay que realizar un ajuste previo. Se proponen dos métodos diferentes, que consisten en comprobar la correlación entre algunas de las variables de que disponemos del OBD.

El primer método mide la correlación entre la velocidad del flujo de masa de aire y la carga del motor. Todos los puntos se miden a diferentes revoluciones por minuto y cargas de motor, y el resultado es una buena correlación con el último parámetro, como se observa en la Figura 3.3.

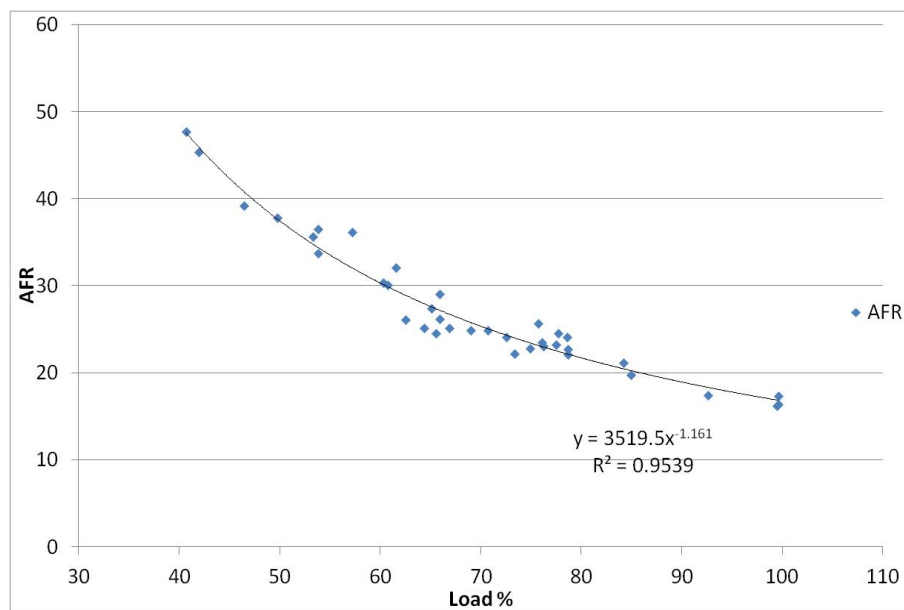


Figura 3.3: Correlación entre el valor MAF y la carga del motor en un determinado automóvil (*Citroen C3 1.4 HDi*)

El segundo método consiste en buscar la relación entre la inyección de combustible y otro

parámetro: el producto entre el flujo de aire y la carga del motor. A la vista de los resultados obtenidos en la Figura 3.4, se obtiene una correlación lineal con un mayor índice de correlación que el método anterior. Por tanto, será este método el que se utilice para determinar la fórmula de cálculo de consumo.

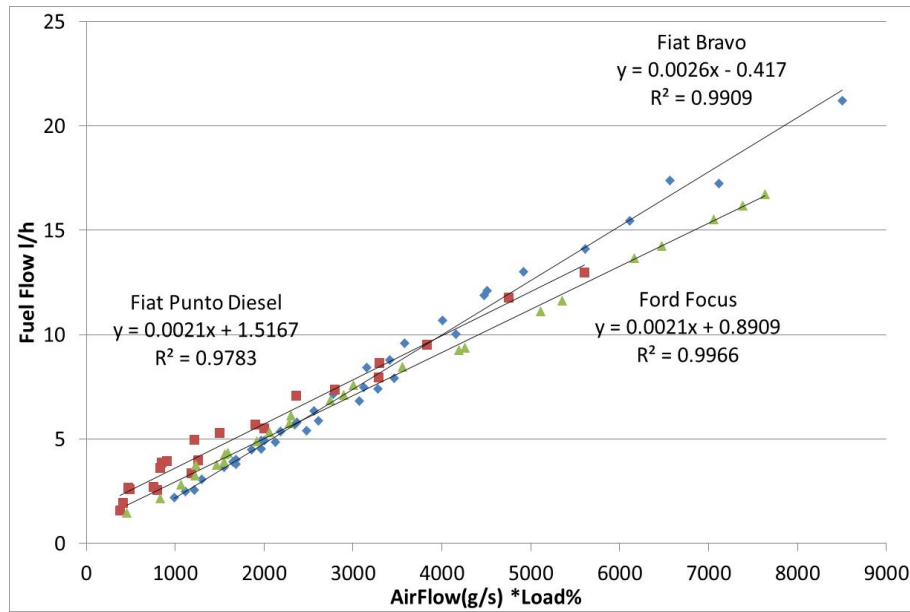


Figura 3.4: Correlación entre el flujo de combustible y el producto entre el flujo de aire y la carga del motor, en tres automóviles distintos (*Fiat Punto Diesel*, *Fiat Bravo Diesel* y *Ford Focus*)

Además, estas pruebas se han realizado en automóviles de otros fabricantes, obteniéndose resultados de correlación similares.

Después de los resultados mostrados, se obtiene la Ecuación de consumo 3.26.

$$Fuel\_Flow(i)[l/h] = a \cdot maf(i) \cdot l(i) \quad (3.26)$$

siendo  $a$  un parámetro de ajuste a evaluar. En nuestro caso, funciona bien con 0.0021 (Gráfica 3.4)

Esta ecuación permite obtener el valor en litros consumidos por hora. Para calcular el consumo en litros por cada cien kilómetros, simplemente hay que añadir el parámetro de la velocidad en km/h e incluir un producto de 100. El nuevo parámetro se muestra en la Ecuación 3.27.

$$Fuel\_Flow(i)[l/100km] = a \cdot maf(i) \cdot l(i) \cdot \frac{100}{s(i)} \quad (3.27)$$

Tras testear los valores calculados con esta ecuación, se observa que para cargas inferiores al 50 % el consumo instantáneo es cuantitativamente similar al que muestra el automóvil a través del ordenador de a bordo. Sin embargo, cuando la carga toma valores superiores el error cometido se vuelve muy significativo, ascendiendo a un litro por cada cien kilómetros con un 75 % de carga o dos litros para el 100 % de la carga.

Para solventar este problema, hay que añadir un nuevo término a la ecuación relacionado con el porcentaje de carga del motor. El PID que se ha testado es el que informa acerca de la presión del carril de combustible. Este parámetro varía entre 60000 kPa con un consumo nulo y 150000 kPa a plena carga.

La Ecuación 3.28 muestra el cálculo definitivo del consumo instantáneo.

$$Fuel\_Flow(i)[l/100km] = \left( a \cdot maf(i) \cdot l(i) - \frac{p(i)}{100000} \right) \cdot \frac{100}{s(i)} \quad (3.28)$$

De cara al usuario, resulta interesante disponer del consumo medio que ha promediado durante los viajes. Esta variable aparece en la Ecuación 3.29.

$$Fuel\_Flow\_Average = \frac{\sum_{i=1}^{i_{max}} Fuel\_Flow(i)}{i_{max}} \quad (3.29)$$

La ecuación propuesta es válida para aquellos automóviles con monitorización diésel. El consumo de los turismos gasolina se ha tratado de parametrizar en base a diferentes fuentes, como [5] y [6]. No obstante, debido a los resultados obtenidos, se ha decidido no incluir este apartado y centrarse en el consumo de aquellos que funcionan con gasóleo.

### 3.3.2. Contaminación emitida por el automóvil

Tal y como recoge un estudio de [8] evaluado en la Unión Europea, los vehículos son los responsables de un alto porcentaje de los gases contaminantes emitidos a la atmósfera. Aproximadamente un 25 % de las emisiones de dióxido de carbono, 87 % de monóxido de carbono, 66 % de óxidos de nitrógeno y 5 % de dióxido de azufre se deben a la actividad automovilística.

Por todas estas razones, en los organismos estatales se está procurando por todos los medios posibles conseguir una reducción de los gases de escape y sus emisiones contaminantes. Con el objetivo de concienciar al conductor acerca del efecto que tiene su conducta sobre el medio ambiente, se ha decidido incluir una sección informativa en la aplicación sobre el efecto contaminante que suponen los viajes.

De hecho, aunque muchos de los factores que intervienen dependen del tipo de automóvil que posea el usuario, la conducta en la carretera también tiene su efecto directo en la contaminación. Esto se debe a que la cantidad de gases emitidos se encuentra directamente relacionada con los litros consumidos, por lo que una conducción eficiente provocará una disminución, en mayor o menor medida, del factor contaminante.

A continuación se van a detallar los gases que se desprenden en cada una de las monitorizaciones del automóvil (diésel o gasolina), así como su relación nociva o no con la atmósfera y la población.

#### 3.3.2.1. Gases de escape de los vehículos

El aire se encuentra formado básicamente por dos gases: nitrógeno (79 %) y oxígeno (21 %). Durante la combustión, el nitrógeno se combina con otros elementos y es expulsado al exterior sin sufrir modificaciones, salvo en pequeñas cantidades, donde forma óxidos de nitrógeno. El oxígeno es indispensable para que se produzca la combustión de la mezcla.

Cuando se habla de la composición de los gases de escape de un vehículo se utilizan siempre los mismos términos: monóxido de carbono, óxido nítrico, partículas de hollín o hidrocarburos. Sin embargo, estas sustancias representan una fracción muy pequeña del total de los gases de escape. En la Figura 3.5 aparece la composición de los gases que desprenden los motores diésel y gasolina.

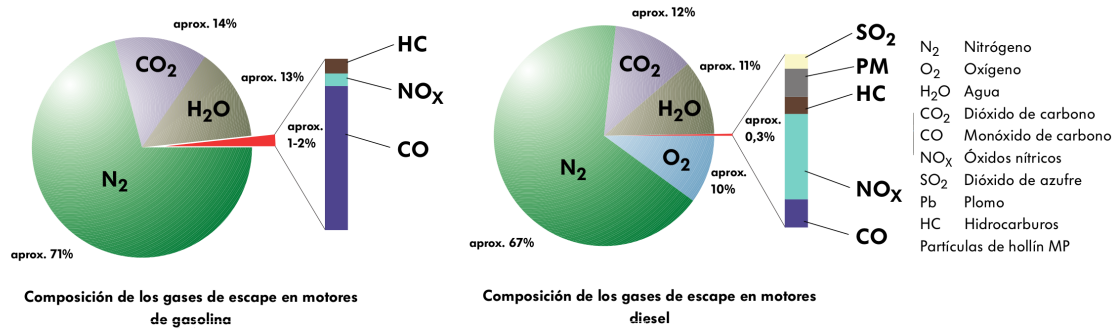


Figura 3.5: Composición de los gases de escape de los motores diésel y gasolina

De todos los gases de escape que aparecen, el estudio se va a centrar en aquellos que poseen efecto invernadero ( $CO_2$ , fundamentalmente) y aquellos que son nocivos para la salud (en la Figura 3.5 aparecen agrupados y suman un 1-2 % del total en el caso de motores de gasolina y un 0,3 % en el caso de diésel).

- Dióxido de carbono ( $CO_2$ ). Se trata de uno de los gases de efecto invernadero que contribuye a que la Tierra tenga una temperatura tolerable para la biomasa. Sin embargo, y aunque no es un gas nocivo, muchos científicos defienden que un exceso de dióxido de carbono provoca el fenómeno del efecto invernadero, con la consiguiente reducción de emisión de calor al espacio y posterior calentamiento del planeta.

No obstante, otros expertos sostienen que un aumento de la temperatura del mar por otras causas provoca una mayor emisión del dióxido de carbono que se encuentra disuelto en los océanos, de forma que la variación del contenido del gas en el aire podría ser causa o consecuencia de los cambios de temperatura, algo que aún no ha sido totalmente aclarado por la ciencia. Independientemente de las controversias existentes en torno al  $CO_2$ , es conveniente promover una emisión del mismo lo más reducida posible.

A la hora de calcular la cantidad de dióxido de carbono emitido durante un trayecto, lo más conveniente es conocer las características de cada automóvil (marca, modelo, etc.). Existe otra forma menos precisa, pero que dota al usuario de información aproximada sobre las emisiones sin necesidad de consultar los parámetros de su turismo.

Como aparece reflejado en [7] podemos considerar factores de emisión de  $CO_2$ , diferentes en el caso de diésel o gasolina. La Ecuación 3.30 muestra el método de cálculo.

$$CO_2\_Mass = CO_2\_Factor \cdot Fuel\_Volume \quad (3.30)$$

donde  $CO_2\_Mass$  se mide en kg,  $CO_2\_Factor$  toma el valor de 2,38 y 2,61 kg/l en gasolina y diésel, respectivamente, y  $Fuel\_Volume$  se mide en l.

La variable  $Fuel\_Volume$  necesaria para el cálculo de la masa de dióxido de carbono se obtiene a partir de la Ecuación 3.31.

$$Fuel\_Volume = \frac{Fuel\_Flow\_Average}{100} \cdot Total\_Dist \quad (3.31)$$

donde  $Fuel\_Flow\_Average$  se mide en l/100 km y  $Total\_Dist$  en km.

A su vez, la variable  $Total\_Dist$  que aparece se halla como aparece en la Ecuación 3.32.

$$Total\_Dist = \sum_{i=1}^{i_{max}} s(i) \cdot t(i) \quad (3.32)$$

donde  $Speed(i)$  se mide en km/h y  $Time(i)$  se mide en h

- Gases nocivos. Existe una pequeña proporción de gases de escape que tienen un efecto negativo directo sobre la salud de la población. Básicamente son el monóxido de carbono, óxidos nítricos, dióxido de azufre, hidrocarburos y partículas de hollín. A continuación se describe cada uno de ellos, así como su efecto sobre el organismo:

Monóxido de carbono ( $CO$ ). Se produce debido a la combustión incompleta de combustibles que contienen carbono. Es un gas explosivo y altamente tóxico que bloquea el transporte de oxígeno por parte de los glóbulos rojos y puede llegar a ser mortal, incluso en una baja concentración en el aire. Afortunadamente, en una concentración baja se oxida al corto tiempo, formando dióxido de carbono.

Óxidos nítricos ( $NO_x$ ). Aparece al existir un exceso de oxígeno durante la combustión del motor, en condiciones de alta presión y alta temperatura. Uno de ellos es el monóxido de nitrógeno ( $NO$ ), que al combinarse con oxígeno da lugar a dióxido de nitrógeno ( $NO_2$ ), el cual provoca una fuerte irritación de los órganos respiratorios.

Dióxido de azufre ( $SO_2$ ). Este gas se produce de forma muy reducida en los gases de escape. Es un gas que propicia las enfermedades de las vías respiratorias, pero interviene sólo en una medida muy reducida en los gases de escape.

Hidrocarburos ( $C_xH_y$ ). Estos restos surgen en los gases de escape después de una combustión incompleta, debida a la falta de oxígeno o a la baja velocidad de inflamación. Cada combinación ( $C_6H_6$ ,  $C_8H_{18}$ ,...), actúa de forma distinta sobre el organismo, provocando irritación en los órganos sensoriales, efecto cancerígeno, etc.

Partículas de hollín ( $MP$ ). Son generadas en su mayor parte por los automóviles de motorización diésel, teniendo efectos muy diversos sobre la salud (pueden ser cancerígenas, generadoras de infartos, agravantes de bronquitis, asma o alergias, etc.).

Una vez expuestas las consecuencias que conlleva la emisión de gases de escape nocivos, hay que dotar al usuario de información de emisión de sus viajes. En este caso, no se ha encontrado un factor de emisión de gases nocivos como el que aparecía en el dióxido de carbono. Sin embargo, resulta muy sencillo el cálculo del mismo pues disponemos del factor del  $CO_2$  y de la proporción en que se emite cada tipo de gas (Figura 3.5). Los resultados aparecen reflejados en la Tabla 3.3.

Combustible	$CO_2$		Gases nocivos	
	Proporción	Factor de emisión	Proporción	Factor de emisión
Diésel	12 %	2,61 kg/l	0,3 %	0,07 kg/l
Gasolina	14 %	2,38 kg/l	1-2 %	0,26 kg/l

Tabla 3.3: Factores de emisión de los gases nocivos a partir del factor del  $CO_2$ .

Una vez hallado el factor de emisión de los gases nocivos, la masa emitida de los mismos supone un cálculo directo similar al que se propuso para el dióxido de carbono.

$$Toxic\_Gases\_Mass = Toxic\_Gases\_Factor \cdot Fuel\_Volume \quad (3.33)$$

donde  $Toxic\_Gases\_Factor$  se obtiene directamente de la Tabla 3.3.

El procedimiento para el cálculo de la variable *Fuel Volume* es idéntico al que aparece en las Ecuaciones 3.31 y 3.32.





## Capítulo 4

# Interfaz gráfica de la aplicación

*OBDrivingCoach* se encuentra estructurada en tres módulos de interfaz fundamentales. En primer lugar, aparece la ventana *User Data*, donde el usuario debe rellenar algunos parámetros que se le indican antes de comenzar el viaje. A continuación, existe una ventana denominada *Trip*, en la que se pueden consultar las variables más relevantes de la conducción, los consejos en tiempo real o los datos acerca de la conducción eficiente, consumo o contaminación. Por último, se encuentra la ventana *Statistics*, donde es posible consultar un resumen de los viajes realizados anteriormente, con sus parámetros más significativos.



Figura 4.1: Logo de la aplicación *OBDrivingCoach*

### 4.1. Pantalla *User Data*


Existen ciertos factores que son intrínsecos al conductor o bien se escapan del alcance de OBD-II que el propio usuario debe proporcionar a la aplicación.

Por un lado se encuentra la especificación del tipo de combustible del automóvil (diésel o gasolina), lo cual nos permitirá ajustar ciertos factores, tales como el umbral de cambio de


●●○○ Orange 17:49 89%

**Please, select your user data before starting the journey**


**USER AGE**

 **21**


**DRIVING LICENSE AGE**

 **3**


**GENRE**



**TYPE OF FUEL**



**PEOPLE IN THE CAR**

 **2**

**Remember connect to the wireless network before clicking Trip**




 User Data  Trip  Statistics

Figura 4.2: Captura de la pantalla *User Data*

marcha, la cantidad de gases contaminantes emitidos por el turismo o la fórmula que proporciona el consumo. Por otro lado, se especificarán valores de perfil del usuario que pueden resultar útiles a la hora de obtener futuras estadísticas offline de los viajes de los conductores.

#### 4.1.1. Tipo de combustible del automóvil

A la hora de llevar a cabo un estudio en el mundo automovilístico es fundamental conocer el tipo de combustible que utiliza el motor. En general, se considerarán dos opciones posibles: diésel o gasolina, que según [18] sumaron el 98,3 % de ventas de turismos en el año 2014. El resto, se corresponden con modelos híbridos que no entran dentro del estudio. Son muchas las diferencias existentes entre los dos tipos de motores, incluyendo el funcionamiento del motor, el consumo que producen o la contaminación que emiten.

Un 70,6 % de las ventas de coches de 2014 en España fueron con motorización diésel frente al 27,7 % de gasolina. Sin embargo, se observa una inversión en la tendencia histórica de ventas: entre 2007 y 2014 se vendieron un 10 % más de coches de gasolina y un 5 % menos de gasóleo. También destaca el incremento de ventas en coches híbridos y eléctricos.

El distinto funcionamiento de los motores según el combustible que consuman implica una serie de diferencias a la hora de evaluar cuándo debe producirse un cambio de marcha. Los motores de gasolina suelen demandar un aumento en la palanca de cambios más tarde que los de gasóleo.

En cuanto al consumo, es bien sabido que los motores de gasolina producen un consumo superior a los de diésel. De hecho, este consumo se calcula de forma bien distinta en un caso y en otro.

Por su parte resultan menos ecológicos los diésel que los de gasolina, sobre todo en términos

de  $CO_2$ . La contaminación producida por los automóviles en función del tipo de combustible ya fue abordada en la Sección 3.3.2.

Por todo ello, se hace evidente la necesidad de demandar al usuario el tipo de combustible del motor antes de comenzar cada viaje.

#### 4.1.2. Perfil de usuario

En el proyecto que se ha desarrollado se han tenido a disposición un número de automóviles muy limitado para las pruebas. Sin embargo, la aplicación está preparada para poder recopilar datos en un servidor de múltiples usuarios haciendo uso de las facilidades que proporciona el procesamiento en la nube y los nuevos conceptos de *big data* y *data analytics*.

Para permitir dicho estudio estadístico es necesario que el usuario especifique en la aplicación un conjunto de variables adicionales de sí mismo y del viaje. Se proponen el sexo y edad del conductor, la antigüedad del carnet de conducir y el tipo de viaje, en solitario o acompañado.

## 4.2. Pantalla *Trip*

En esta parte de la interfaz se muestra el estado del dispositivo OBD, las variables tiempo y distancia totales, el módulo de consejos en tiempo real, los criterios de conducción eficiente y los cálculos de consumo y contaminación.

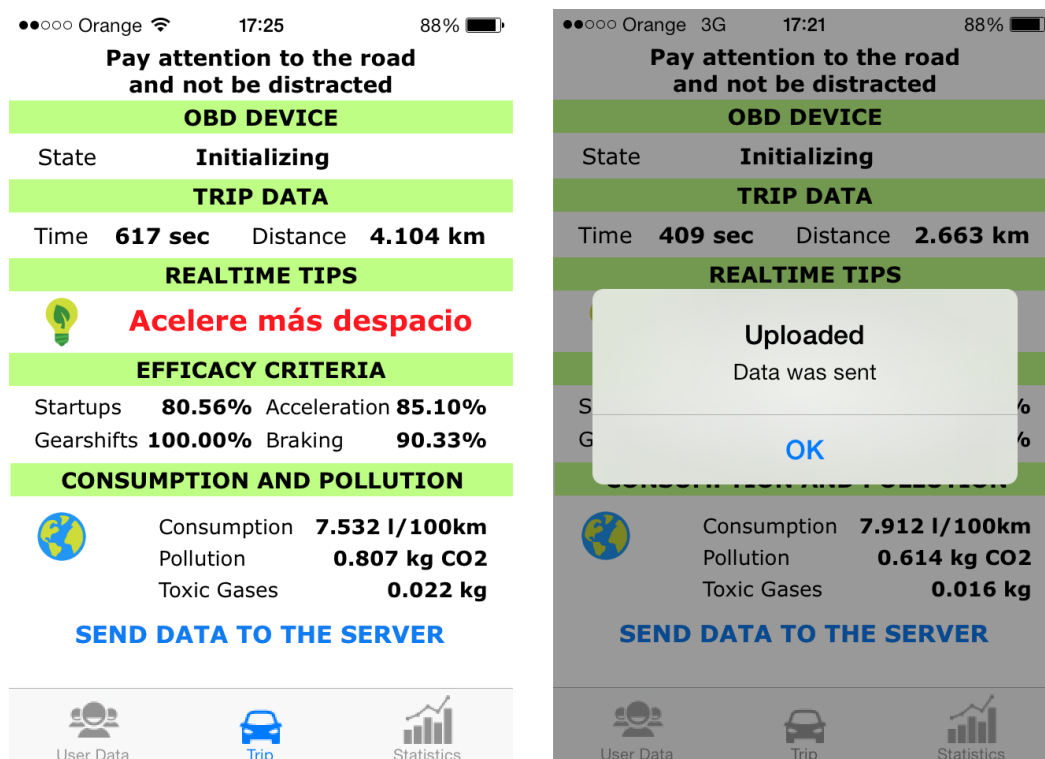


Figura 4.3: Capturas de la pantalla *Trip*. A la izquierda, la interfaz presente durante la conducción. A la derecha, la ventana de confirmación de envío de los datos al servidor.

### 4.2.1. Módulo de consejos online

Otro de los módulos que constituye la aplicación es el asistente a la conducción en tiempo real, que se encarga de mostrar y reproducir una serie de sugerencias que pueden ayudar al conductor a mejorar sus actitudes al volante y a ahorrar combustible. Para ello, se parte de una lista de consejos que se le pueden mostrar al usuario:  $advice_1, advice_2, \dots, advice_n$ .

Tomando como base los valores de las variables que se han utilizado en otros módulos (velocidad, tiempo, aceleración, rpm...), hay que determinar cuál de los posibles consejos es el más pertinente en cada momento. Para ello, habrá que estudiarlos y valorar entre cuáles puede haber conflictos, y si los hay, cuál de ellos es más conveniente sugerir al usuario.

### 4.2.2. Implementación de los consejos

La lista de consejos se ha conformado en su mayoría con las sugerencias que aparecen en [1]. Son los siguientes:

1. “Apague el motor”
2. “Aumente la marcha”
3. “Disminuya la marcha”
4. “Acelere más despacio”
5. “Frene más despacio”
6. “Está circulando a más de 90 km/h”
7. “La conducción es la adecuada”

#### 4.2.2.1. Consejo 1: “Apague el motor”

Este consejo surge ante la recomendación de que se debe apagar el motor del turismo en paradas prolongadas. En general, las diversas fuentes coinciden en que se produce una parada prolongada cuando el vehículo permanece detenido durante más de sesenta segundos. De esta forma, se está ahorrando una pequeña cantidad de combustible (aproximadamente 0,5-0,8 litros/hora).

Aunque pueda parecer insignificante, son muchas las situaciones en que este consejo puede servir de ayuda a gran parte de los conductores. Como ejemplo, existe una tendencia generalizada de no apagar el motor ante un atasco o embotellamiento vial duradero. Algunos modelos de automóvil incorporan desde hace años sistemas de *Start-Stop*, cuyo funcionamiento y ventajas se van a explicar para justificar la necesidad de este consejo [19].

Los sistemas *Start-Stop* llegaron por primera vez a *Bosch* en el año 2007, aunque actualmente hay más vehículos y marcas que llevan incorporados sistemas similares. Se trata de un sistema diseñado con el objetivo de disminuir el consumo de combustible y las emisiones de  $CO_2$  a la atmósfera.

Su funcionamiento es relativamente sencillo: cuando el vehículo se encuentra parado en punto muerto el motor se apaga, quedando en modo stand-by. De esta forma, el automóvil ha dejado de consumir combustible. A continuación, cuando el conductor pisa el embrague para arrancar de

nuevo, el sistema vuelve a arrancar el motor de forma automática. Este sistema puede activarse o desactivarse de forma rápida mediante un botón.

Según el Ciclo Europeo de Conducción (NEFZ), “el ahorro medio de combustible con este sistema es del 5 %, pudiéndose llegar a valores en torno al 8 %. Estos valores se corresponden con vehículos medios. En vehículos más grandes, como todoterrenos, el ahorro es mayor. Además, si la conducción es en su mayoría de tipo urbano, el ahorro también aumenta hasta el 8 o 15 %, según el vehículo”.

Modelo	Consumo (con/sin) (l)	Ahorro (€)
Land Rover Freelander	5,49/5,67	0,18
Mazda 3	4,80/5,18	0,39
Toyota iQ	3,43/3,80	0,39

Tabla 4.1: Resultados del efecto de un sistema *Start-Stop* sobre el consumo de automóviles

En la Tabla 4.1 aparecen evidencias numéricas del ahorro que conlleva este sistema en una prueba realizada en tres automóviles distintos, durante un trayecto de aproximadamente 50 kilómetros, realizado con y sin el sistema *Start-Stop* activado. Los resultados son evidentes: con los precios de diésel y gasolina a fecha del estudio, realizado a finales de 2011, se podrían ahorrar entre 40 y 70 euros al año considerando trayectos diarios de 50 km. A día de hoy este ahorro sería aún mayor, debido a la subida del precio de los combustibles.

Una vez justificada la necesidad de implementar el primer consejo, se procede a su implementación. Se define una nueva variable instantánea  $standing\_t(i)$ , que acumulará el tiempo durante el cual el vehículo ha permanecido parado en una detención. Matemáticamente, se aplica la Ecuación 4.1 en todos los instantes de tiempo.

$$standing\_t(i) = \begin{cases} standing\_t(i-1) + (t(i) - t(i-1)) & \text{if } s(i) = 0 \\ 0 & \text{if } s(i) \neq 0 \end{cases} \quad (4.1)$$

Después de la evaluación del tiempo total de parada del automóvil, se valora si el valor de dicha variable supera el umbral comentado anteriormente.

$$advice(i) = advice_1 \text{ if } standing\_t(i) > t\_high;$$

donde  $advice(i)$  es el consejo mostrado en el instante  $i$  y  $t\_high$  es una constante de valor 60 segundos

#### 4.2.2.2. Consejo 2: “Aumente la marcha”

En anteriores capítulos se habló acerca de la influencia de los cambios de marcha para la conducción eficiente. También se puso de manifiesto el ahorro que supone en términos de combustible la circulación en marchas elevadas (4ª y 5ª sobre todo) respecto a otras. Por tanto, este consejo se considera justificado y su implementación es necesaria.

La condición para aconsejar un aumento de marcha al conductor es que las revoluciones por minuto superen ciertos umbrales. Sin embargo, hay que tener en cuenta que en trayectos por autovía o carretera nacional el automóvil se puede encontrar excesivamente revolucionado a la velocidad de cruce del viaje, pero circulando ya a la máxima marcha posible. En estas situaciones no se aconsejará al usuario que aumente la marcha.

$$advice(i)=advice_2 \text{ if } r(i)>r\_high, s(i)<s\_high;$$

donde  $r\_high$  es una constante de valor 2000 rpm en diésel y 2500 en gasolina, y  $s\_high$  toma el valor de 90 km/h ó 25 m/s

El valor de  $s\_high$  ha sido establecido tras llevarse a cabo múltiples pruebas donde se observaba que a partir de esa velocidad el automóvil se encontraba revolucionado por encima del valor umbral, pero tampoco procedía aconsejar un aumento de marcha al no poderse realizar.

#### 4.2.2.3. Consejo 3: “Disminuya la marcha”

Como ya se comentó anteriormente, los estándares recomiendan a la hora de la deceleración levantar el pie del acelerador y dejar rodar el vehículo con la marcha engranada en ese momento, reduciendo a una marcha inferior lo más tarde posible.

Sin embargo, hay que tener especial cuidado con estos estándares, ya que se puede correr el riesgo de que se produzca una detención brusca del motor. Es por ello que se ha establece un umbral mínimo de revolución del motor, común a monitorizaciones diesel y gasóleo. A partir de la realización de trayectos y la observación del ordenador de a bordo del automóvil disponible, se determinó que es aconsejable reducir la marcha antes de descender hasta un valor de 1000 rpm.

Tal y como ocurría en el apartado anterior, pueden darse situaciones en las que no es adecuado mostrar este consejo. Esto ocurre, por ejemplo, cuando el automóvil se encuentra detenido momentáneamente con el motor arrancado. El valor de revolución en ese instante suele ser de aproximadamente 800 rpm. Por tanto, se impondrá como condición que la velocidad supere un umbral mínimo.

$$advice(i)=advice_3 \text{ if } r(i)<r\_low, s(i)>s\_low;$$

donde  $r\_low$  es una constante de valor 1000 rpm en diésel y gasolina, y  $s\_low$  toma el valor de 10 km/h ó 2,78 m/s

#### 4.2.2.4. Consejo 4: “Acelere más despacio”

Como ya se expuso en la evaluación de criterios de conducción eficiente, existen ciertos umbrales de aceleración que no deben superarse para conseguir una conducción lo más uniforme posible. Este consejo surge con el objetivo de avisar al usuario en tiempo real en caso de que la aceleración se encuentre por encima de dichos valores.

$$advice(i)=advice_4 \text{ if } a(i) > a\_low$$

donde  $a\_low$  es una constante de valor 1,11 m/s<sup>2</sup>

#### 4.2.2.5. Consejo 5: “Frene más despacio”

De forma idéntica a la sugerencia anterior, aparece el quinto consejo. En este caso, la aceleración no debe estar por debajo del valor de frenada límite.

$$advice(i)=advice_5 \text{ if } a(i) < b\_low$$

donde  $b_{low}$  es una constante de valor  $-2 \text{ m/s}^2$

#### 4.2.2.6. Consejo 6: “Está conduciendo a una velocidad excesiva”

El consumo de combustible de un automóvil es un parámetro que depende de múltiples variables, entre ellas la velocidad de circulación. La dependencia que existe entre ellos no es lineal, sino que hay que diferenciar entre altas y bajas velocidades ya que el consumo se incrementa de forma exponencial con el aumento de la velocidad.

Como explica Bart Degraeuwe [20], investigador del Instituto Flamenco de Investigación Tecnológica (VITO), la resistencia aerodinámica de un coche es proporcional al cuadrado de su velocidad. Esto significa que el consumo de carburante es muy alto a 120 kilómetros por hora, descendiendo considerablemente si se disminuye la velocidad.

Este hecho se cumple para velocidades altas, por encima de los 70 km/h. Cuando se baja al rango entre 50 y 70 km/h el cambio en el gasto de carburante no resulta tan determinante. Sin embargo, al circular a velocidades muy bajas (por debajo de 40 km/h) el consumo vuelve a subir. Este hecho es inevitable en las ciudades, donde los límites de velocidad y la seguridad ciudadana no permiten conducir más deprisa.

En relación a las emisiones de  $CO_2$ , el estudio de Degraeuwe relata que en autopistas se puede reducir considerablemente el consumo al pasar de 120 km/h a 90, y por tanto la contaminación. Sin embargo, en las ciudades reducir la velocidad de 50 km/h a 30, por ejemplo, no tiene un efecto positivo sobre la contaminación. De hecho en algunos casos ésta se ve aumentada al intentar conseguir lo contrario.

A partir de [21] y si se toma como base otro estudio del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) [14] es posible cuantificar la influencia que puede tener, de media, una reducción de la velocidad en carreteras de alta velocidad.

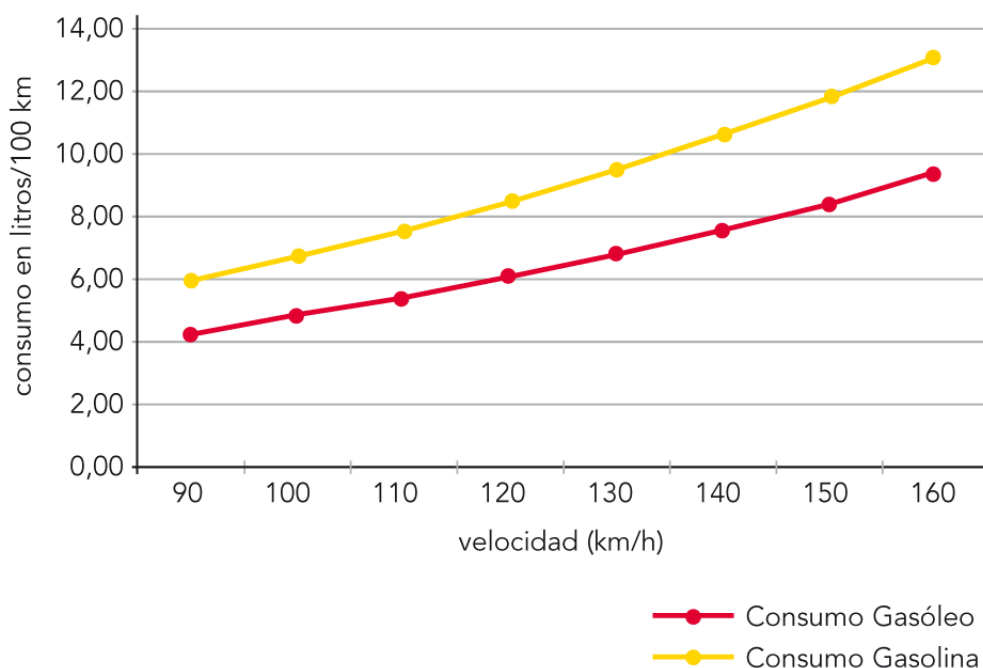


Figura 4.4: Evolución del consumo con el aumento de velocidad

Como se observa en el Gráfico 4.4 y numéricamente en 4.5, un cambio de sólo 20 km/h a

altas velocidades supone aumentos del combustible de más del 20 % en caso de los automóviles diésel, y de más del 30 % en turismos con monitorización de gasolina. Además, se observa la tendencia exponencial que se comentaba anteriormente, pues el cambio de 120 a 140 km/h es mucho más determinante para el carburante que el paso de 120 a 100.

Variación de velocidad	Incremento de consumo (vehículo diésel)	Incremento de consumo (vehículo gasolina)
Paso de 120 a 140 km/h (+16,7%)	+24,8%	+35%
Paso de 120 a 100 km/h (-16,7%)	-21%	-29,6%

Figura 4.5: Interpretación numérica del gráfico anterior

En cada automóvil la velocidad de circulación en autovía que optimiza el consumo de combustible es diferente, sobre todo dependiendo de si el turismo dispone o no de sexta marcha. De cara a la aplicación, se van a implementar dos posibles condiciones para mostrar este consejo: que la velocidad y las revoluciones por minuto superen un cierto umbral, o que la velocidad supere la velocidad máxima permitida en las carreteras españolas (120 km/h). La implementación numérica del consejo número 6 aparece a continuación.

$$advice(i) = advice_6 \text{ if } \begin{cases} s(i) > s\_high, r(i) > r\_high \\ o \\ s(i) > s\_limit \end{cases} \quad (4.2)$$

donde  $s\_high$  es 90 km/h,  $r\_high$  toma valores de 2000 o 2500 rpm (diésel o gasolina) y  $s\_limit$  equivale a 120 km/h.

#### 4.2.2.7. Consejo 7: “La conducción es la adecuada”

Existe un último consejo presente en la aplicación que se muestra cuando todo transcurre con normalidad y la conducta durante el viaje es la adecuada. Si tras el estudio de las variables se observa que todos los valores se encuentran dentro de los umbrales adecuados, es conveniente avisar al usuario para que continúe el máximo tiempo posible conduciendo de esa forma.

#### 4.2.3. Sincronización de consejos

Dado que las condiciones para la aparición de los consejos no son excluyentes entre sí, puede darse la situación de que varios consejos se muestren a la vez. Se considera que esto no es lo más adecuado, sino que siempre debe haber un único consejo que prime sobre los demás en caso de conflicto.

Los consejos 1, 6 y 7 no presentan conflicto con ningún otro debido a las condiciones que los implementan. En el resto de casos, el consejo 2 puede aparecer a la vez que el consejo 4, mientras que el consejo 3 puede hacer lo propio con el consejo 5. Esto ocurre porque el aumento o disminución de la velocidad va asociado al aumento o disminución de marcha.

Para solucionar este problema se establecen como prioritarios los consejos referidos al cambio de marcha (4 y 5) sobre aquellos relacionados con la aceleración (2 y 3). Esta elección se debe a



que se considera más importante un aumento o disminución de la marcha, que obliga a acelerar más despacio durante el cambio y disminuye las revoluciones por minuto del motor, las cuales están directamente relacionadas con el consumo del vehículo.

#### 4.2.4. Implementación visual y auditiva

Para la implementación visual del módulo de consejos se ha empleado un código de colores conocido por los usuarios basado en verde, amarillo y rojo. Se mostrará en verde el consejo 7, indicando normalidad. Por su parte, el resto de consejos se mostrarán en amarillo o rojo, dependiendo de la gravedad.

Por ejemplo, el consejo 5 que indica una aceleración excesiva, se mostrará en amarillo cuando se supere el primer umbral de aceleración ( $a_{low} = 1,11 \text{ m/s}^2$ ). Sin embargo, si el usuario no mejora la conducta y supera el segundo umbral de aceleración ( $a_{high} = 2 \text{ m/s}^2$ ), el consejo aparecerá en rojo, indicando la importancia que supone su cumplimiento. De forma análoga ocurre con el resto de consejos.

Dado que una de las directrices que se han seguido a la hora de desarrollar la aplicación ha sido la de evitar la distracción del usuario, garantizando su seguridad, también se han implementado los consejos de forma auditiva. A continuación se habla acerca de la importancia de no provocar distracciones en el usuario mientras conduce.

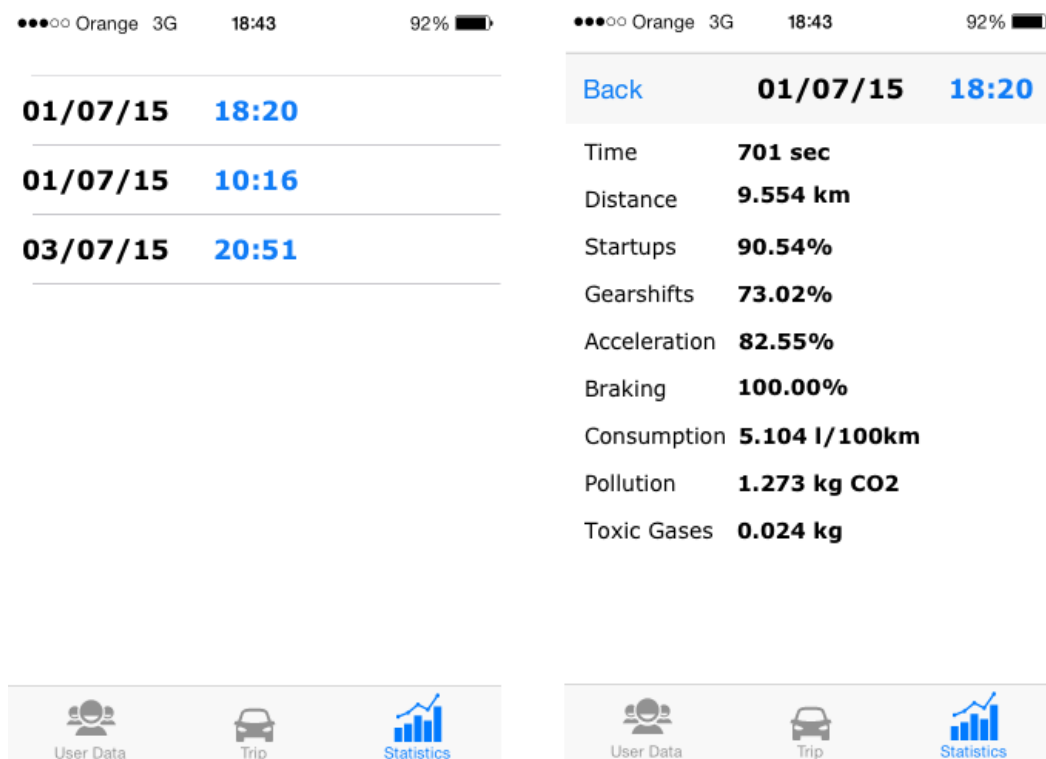
Según [22] y [23], las distracciones al volante constituyen la causa de más del 30 % de los accidentes ocurridos en las carreteras españolas. Entre las causas que provocan distracciones en el usuario se encuentran la manipulación de objetos en el vehículo o el uso del teléfono móvil. Para evitarlas, siempre se aconsejará al piloto configurar las características de la aplicación antes de comenzar el viaje.

Otra de las causas de distracción es el hecho de apartar la vista de la carretera. En el caso de *OBDDrivingCoach*, el usuario no debe permanecer atento a los consejos que aparecen por la pantalla del smartphone durante la conducción, puesto que existe la implementación auditiva que se comentaba anteriormente. Se trata de un aspecto importante que evitará muchos posibles accidentes en el uso de la aplicación, pues un 38 % de los conductores reconoce distraerse habitualmente, desviando la atención del tráfico.

Para la implementación de los audios de los consejos se ha utilizado el software *SodelsCot 3.9*, un sintetizador capaz de convertir cualquier texto a voz. Concretamente, se ha introducido el texto en un editor de textos mediante el teclado. A continuación, el software ha codificado el texto a voz, generando archivos de audio *.wav*. Por último, estos archivos han sido incluidos al proyecto de *xCode*. De esta forma, una función dentro del programa reproduce cada archivo de audio cuando corresponda.

### 4.3. Pantalla *Statistics*

Esta pantalla constituye un registro de los viajes realizados por el usuario. En ella se puede seleccionar la ruta identificada por fecha y hora, y entrar a consultar los parámetros más destacados de la conducción.

Figura 4.6: Captura de la pantalla *Statistics*

## Capítulo 5

# Servidor web de base de datos

### 5.1. Introducción

*OBDDrivingCoach* captura y procesa gran cantidad de información acerca del viaje y del estilo de conducción. Una de las principales ventajas que supone el desarrollo de la aplicación sobre los teléfonos inteligentes es su alta capacidad de comunicación, frente a las plataformas instaladas en otros turismos. El acceso a Internet se encuentra presente en cualquier smartphone y permite gran cantidad de posibilidades.

Como se indicará más adelante, de cara a posibles trabajos futuros existe la posibilidad de llevar a cabo un análisis más detallado de los datos recopilados de forma offline. Por esta razón, se ha diseñado un servidor de datos web en base a [24] capaz de almacenar desde un cliente HTTP la información de distintos viajes realizados por los usuarios de la aplicación.

### 5.2. Información a enviar

En cada viaje realizado se obtienen datos capturados a priori gracias al OBD, e información procesada a posteriori. Todos estos datos se guardan en archivos de texto, dispuestos en columnas con etiquetas de tiempo, lo que permite llevar a cabo el análisis posterior. Concretamente, los datos que se van a almacenar en el servidor son:

- Variables capturadas por el sensor OBD-II.
- Datos de entrada del usuario referentes a las características del usuario y del viaje.
- Criterios relacionados con la conducción eficiente.

### 5.3. Cliente

Se ha desarrollado un módulo de comunicación en la aplicación capaz de ponerse en contacto con el servidor. El proceso es el siguiente: una vez que el usuario termina una ruta, la aplicación comprime todos los archivos de texto en un archivo *.zip*. Este archivo es movido a una carpeta determinada, donde se encuentran los archivos que están esperando para ser cargados. La aplicación genera un identificador único de dispositivo (UDID) para cada usuario, que se incrusta en el nombre del archivo. De esta forma, el nombre final del archivo cargado es:

*OBDrivingCoach\_User(UDID)\_PhoneType\_RouteDate(YYYYMMDDhhmmss).zip*

La aplicación comprueba la conectividad con el servidor regularmente. Siempre que sea posible, todos los archivos en espera de ser cargados se envían uno a uno por una petición HTTP PUT con el servidor, que se describirá en la sección 5.4.

## 5.4. Servidor

Existe un servidor capaz de gestionar las solicitudes de carga enviadas por los usuarios de *OBDrivingCoach*. Actualmente se encuentra disponible en <http://drivesafe.uah.es>. A continuación se describe la infraestructura seguida para el diseño del servidor así como la organización que se ha seguido para organizar los datos cargados.

### 5.4.1. Infraestructura del servidor

El servidor se ha desarrollado siguiendo el modelo LAMP (*Linux, Apache, MySQL, PHP*), representado en la figura 5.1. Esta arquitectura consta de:

- El sistema operativo *Linux*, que permite una gestión sencilla de los recursos de red y el almacenamiento de los archivos.
- El servidor web *Apache*, que implementa el protocolo HTTP. Este servidor permite la recepción de los datos a través de peticiones PUT realizadas desde el lado del cliente.
- *MySQL*, que permite un fácil manejo bases de datos. Actualmente no se emplea esta característica, pero será utilizada en el futuro de cara a una gestión más compleja de los datos de usuario.
- El lenguaje de programación *PHP*, que proporciona algo de inteligencia al servidor. En este caso, el código que gestiona las cargas está programado en PHP y se describe más adelante.

### 5.4.2. Código PHP

Un código PHP maneja las peticiones PUT enviadas por el lado del cliente de la aplicación. Cada carga tiene que pasar una serie de filtros para evitar la corrupción de datos. En primer lugar, la entrega está protegida por un usuario y una contraseña que sólo se encuentra disponible dentro del código de la aplicación *OBDrivingCoach*, de modo que sólo se permite cargar archivos a usuarios de la aplicación oficial.

En segundo lugar, el tamaño y formato de los archivos cargados se comprueban para controlar que sigue los estándares deseados. Por último, la integridad del archivo se comprueba y se guarda en el servidor de almacenamiento de archivos, siguiendo la estructura que se describirá en la sección 5.4.3. El código también gestiona la creación de carpetas para cada usuario o dispositivo cuando sea necesario (concretamente, en las primeras cargas del usuario). Si todo transcurre con éxito, el código devuelve una respuesta HTTP en forma de ACK, para que el cliente sea capaz de saber que la carga fue recibida con éxito.

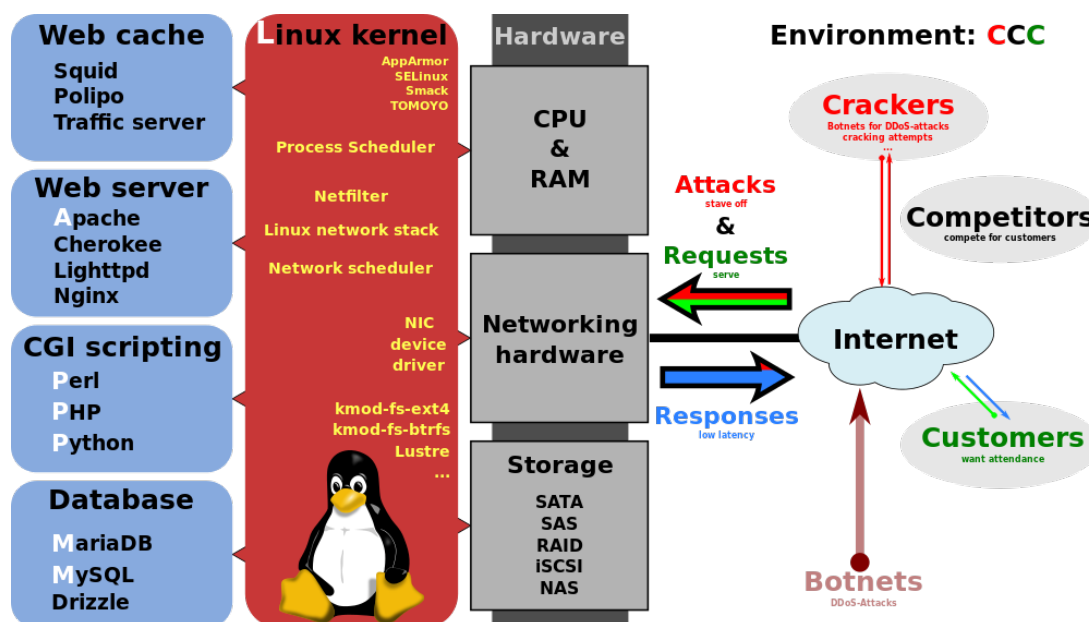


Figura 5.1: Diagrama del software LAMP

### 5.4.3. Estructura de datos

La Figura 5.2 representa cómo se almacenan los archivos en el servidor en código PHP. El nombre del archivo enviado por el cliente contiene los identificadores que permiten el almacenamiento en diferentes carpetas o compartimentos. Un identificador de la aplicación permite la compatibilidad para el uso del servidor en otras aplicaciones en el futuro.

Un ID de usuario único (UDID) se utiliza para separar los datos para cada usuario. Por su parte, la identificación del teléfono divide los datos según el modelo de teléfono (por ejemplo iPhone 4, iPhone 5 o iPhone 6). Por último, cada viaje realizado en *OBDDrivingCoach* se guarda en un archivo diferente, cuyo nombre coincide con la fecha y hora exactas en que se realizó.

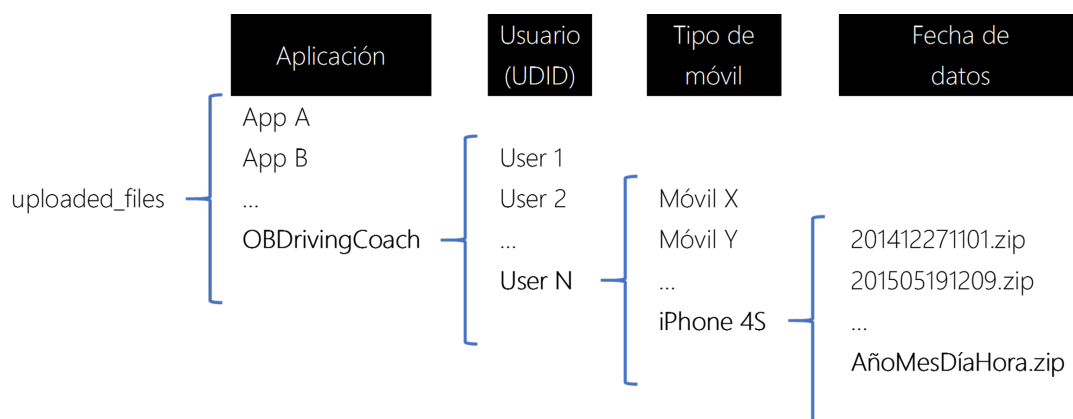


Figura 5.2: Distribución de los datos en el servidor

Actualmente, los datos se almacenan comprimidos en formato *.zip*. En trabajos futuros, se podría desarrollar el código PHP para que fuera capaz de extraer los archivos y realizar análisis adicionales de datos, como se describe en la Sección 5.4.4.

#### 5.4.4. Análisis de datos

Un servidor como el que se ha desarrollado resulta muy útil para conseguir ciertos propósitos:

- Realimentación para el desarrollo. Los datos generados en cada viaje han sido muy útiles para el desarrollo de *OBDDrivingCoach*, y han sido aún más importantes para la corrección de errores de software que estaban ocultos durante la depuración.
- Modelado del vehículo y del conductor. Cada vehículo y cada usuario tienen sus propias características y conductas, respectivamente. Por lo tanto, mediciones múltiples nos permiten ajustar los umbrales de los indicadores de comportamiento, con el fin de mejorar el análisis y adaptar la aplicación a la gran mayoría de la gente.
- Análisis de datos. La globalización ha provocado que la gestión de datos de forma masiva en términos de estadísticas se vuelva muy importante. Esto es debido a que sirve como fuente de información para cualquier institución. De hecho, el campo de la analítica de datos se encuentra en constante evolución en los últimos años. En el tema específico de los vehículos, inferir estadísticas masivas sobre los comportamientos de conducción resulta muy útil e interesante para las compañías de seguros o los gobiernos. La aplicación de técnicas de estadística a los datos recogidos por *OBDDrivingCoach* también será investigada en futuros trabajos.

## Capítulo 6

# Resultados

La evaluación de resultados de la aplicación está basada en la realización previa de diferentes viajes o rutas con el automóvil, con una duración mínima de cinco minutos cada uno, mediante el monitorizado del valor de consumo medio que proporciona el vehículo en la consola central. Para ello, este contador es reiniciado al principio de cada viaje. Los trayectos se han definido con esta duración mínima debido a que el vehículo necesita un periodo mínimo para poder proporcionar al usuario valores de consumo fiables.

Estos viajes difieren entre sí en cuanto al tipo de conducción efectuada, al tipo de trayecto realizado (por entorno urbano, interurbano, mixto, etc.) o al usuario que conduce. Por un lado, se han realizado dos rutas urbanas con conducción eficiente y no eficiente. Además, se ha realizado una ruta combinada, con porciones de tiempo urbanas e interurbanas. También se dispone de un viaje mayoritariamente interurbano por autovía y trayectos efectuados por otros usuarios.

### 6.1. Trayectos urbanos

Los viajes urbanos se han realizado en el centro de la ciudad de Azuqueca de Henares. El procedimiento ha sido el siguiente: se ha descrito la misma ruta, aplicando en un caso conducción más eficiente (con aceleraciones y deceleraciones suaves, cambios de marcha tempranos) y en otro caso conducción no eficiente. Para estar en condiciones de comparar los resultados obtenidos, estos trayectos se han efectuado a la misma hora del día, de manera que el tráfico encontrado en la ciudad fuera similar.

En las Figuras 6.1 y 6.2 se encuentra un resumen de los resultados obtenidos en ambas rutas, incluyendo las variables instantáneas más destacadas de los mismos (revoluciones por minuto, velocidad, aceleración, consejos mostrados al usuario en tiempo real y consumo del automóvil).

Como se observa en las gráficas, la función de revoluciones por minuto presenta una oscilación continua debido a la gran cantidad de cambios de marcha efectuados en un entorno urbano, presentando valores constantes en pocos momentos (cuando el vehículo se encuentra detenido). En cuanto al viaje realizado con conducción eficiente, destaca especialmente que esta variable rebasa en pocas ocasiones el valor límite de 2000 rpm establecido en secciones anteriores para considerar eficientes los cambios de marcha ascendentes. Sin embargo, la misma variable en el trayecto no eficiente presenta mayor cantidad de instantes donde supera dicho valor, llegando incluso a valores cercanos a las 2500 rpm.

En cuanto a la función de aceleración instantánea, ocurre algo similar a lo anterior. En el caso del viaje eficiente, la aceleración se mantiene la mayor parte del tiempo entre el límite

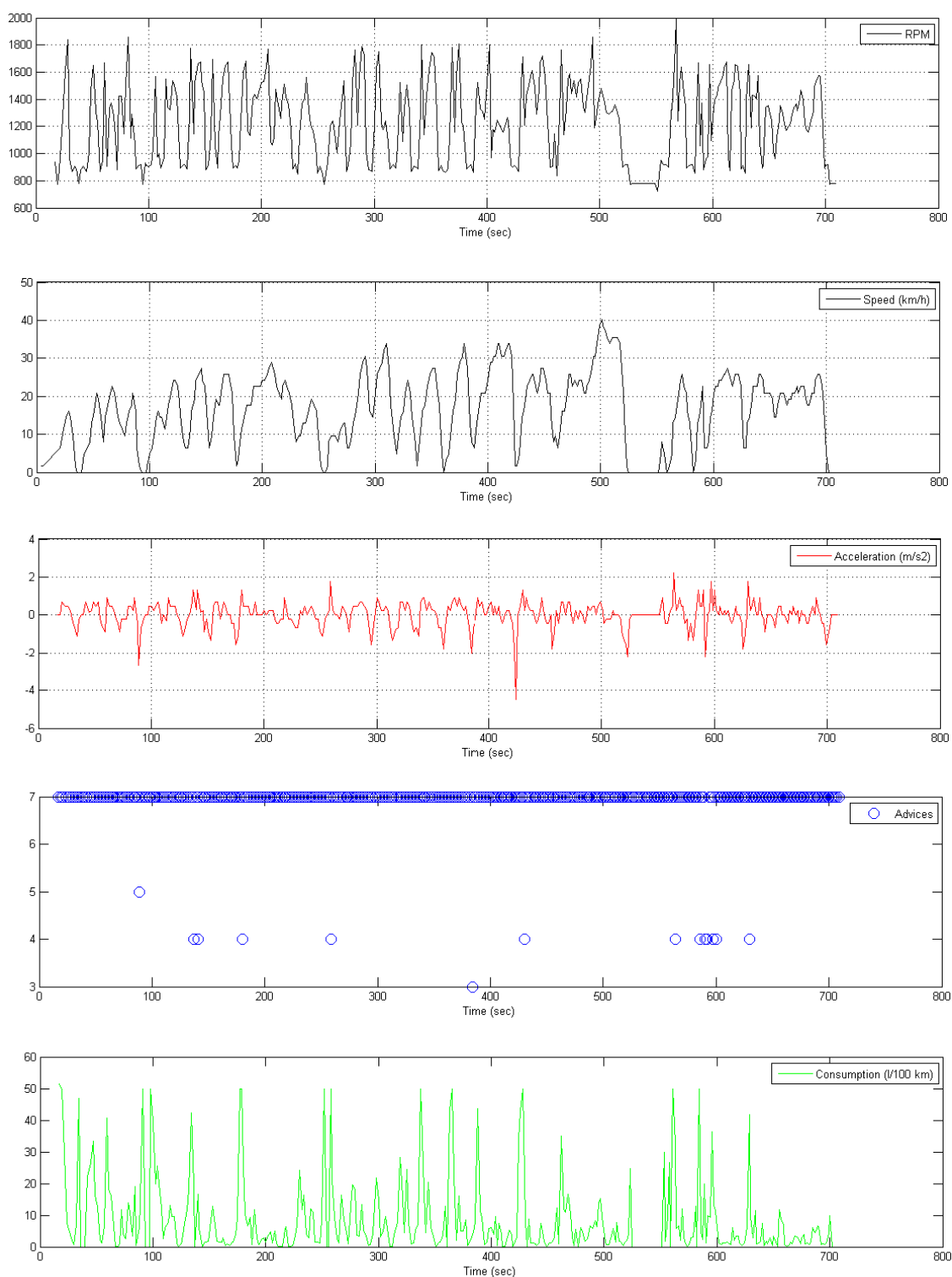


Figura 6.1: Evolución de las variables RPM, velocidad, aceleración, consejos sugeridos al usuario y consumo. Viaje urbano con conducción eficiente



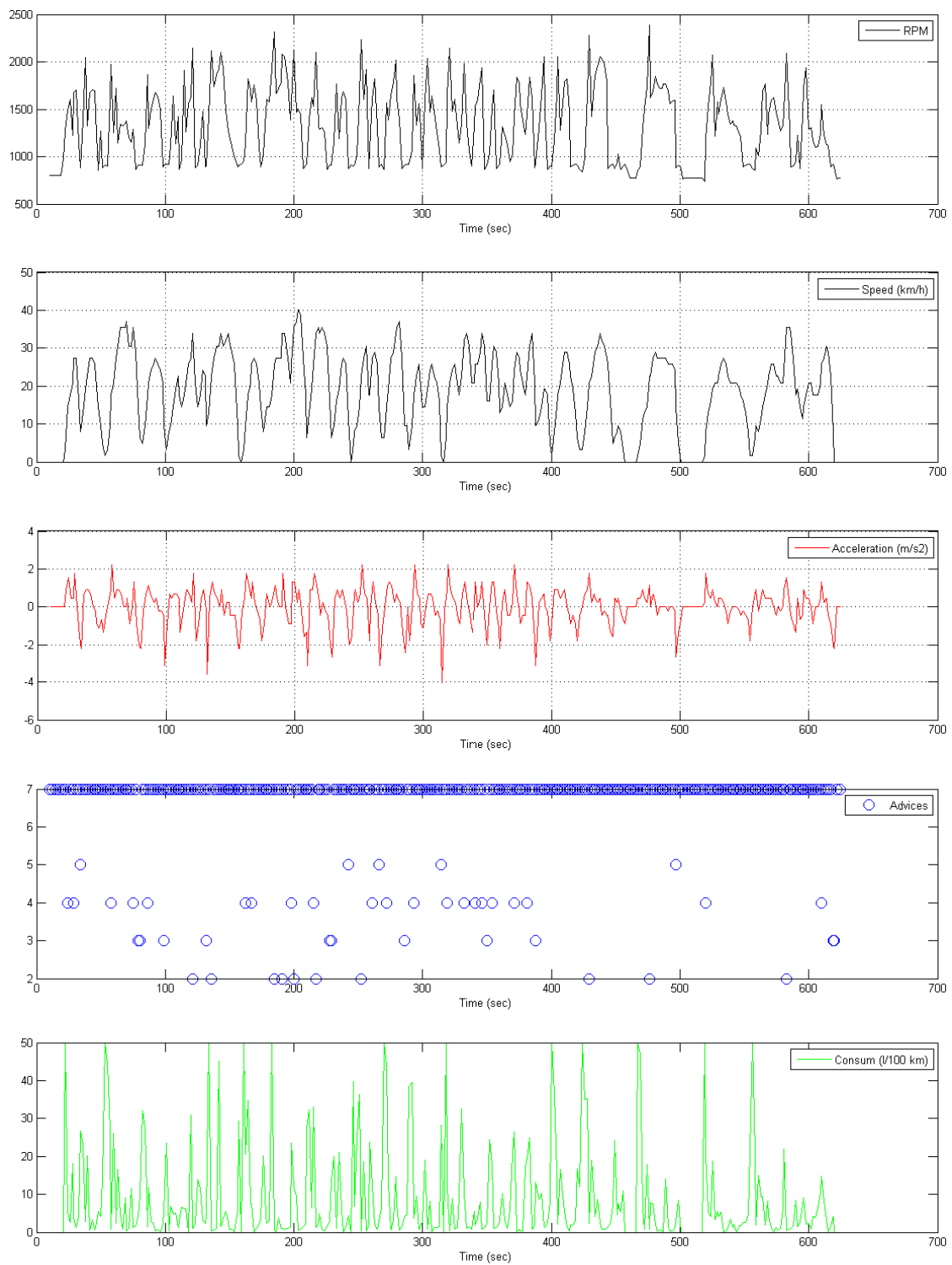


Figura 6.2: Evolución de las variables RPM, velocidad, aceleración, consejos sugeridos al usuario y consumo. Viaje urbano con conducción no eficiente

superior de  $1,11 \text{ m/s}^2$  y el límite inferior de frenada de  $-2 \text{ m/s}^2$ . Sin embargo, la misma variable presenta mayor oscilación y alcanza valores de 2 y  $-3 \text{ m/s}^2$  con mayor frecuencia.

La variable de consejos mostrados al usuario es quizás una de las más representativas de las diferencias entre un tipo de conducción y otro. Se considerará la nomenclatura de consejos explicada en la sección correspondiente. En el caso del viaje eficiente, la variable se encuentra con gran frecuencia mostrando el consejo 7 (“Conduzca con normalidad”). Únicamente muestra en instantes aislados otros consejos, destacando especialmente el consejo 4 (“Acelere más despacio”), puesto que el límite de aceleración impuesto es rebasado con facilidad en entornos urbanos.

Se observa una diferencia clara con el viaje no eficiente, en el que esta variable presenta gran cantidad de consejos distintos del 7, para que el usuario mejore la conducción. De entre ellos sobresale el consejo 4, como en el apartado anterior, pero además aparece el consejo 2 (“Aumente la marcha”) con bastante frecuencia, debido al rebaso del umbral de cambio de marcha en numerosas ocasiones. También aparece el consejo 3 (“Disminuya la marcha”) y el consejo 5 (“Acelere más despacio”), debido a deceleraciones bruscas en la conducción.

En estos casos, no aparecen el consejo 1 (“Apague el motor”) ni el consejo 6 (“Está conduciendo a más de  $90 \text{ km/h}...$ ”) dado que no se dan las condiciones necesarias para mostrarse al usuario, pues no se ha dejado el turismo arrancado durante mucho tiempo ni se han alcanzado velocidades propias de otros entornos no urbanos.

En términos generales, el número total de instantes de tiempo en que se muestra un consejo diferente al consejo estándar (7) es muy superior en el caso de la conducción no eficiente (47 muestras de 357) que en el caso de la conducción eficiente (14 muestras de 376). Esto supone que en el viaje no eficiente se avisa al usuario de que debe mejorar su conducta en un 13,165 % de las ocasiones, frente al escaso 3,723 % en el viaje eficiente.

Por su parte, la variable de consumo instantáneo presenta gran oscilación, de manera que toma valores muy altos (cercanos a  $50 \text{ l/100 km}$ ) en los arranques, valores intermedios (20-40) para velocidades bajas en las primeras marchas, y valores bajos (menores a 10) en velocidades y marchas más altas o momentos en que el turismo se encuentra detenido (consumo cercano a 0).

La Tabla 6.3 compara los resultados obtenidos en ambos trayectos. A la vista de los resultados y como era de esperar, aparecen valores de consumo medio y emisiones ligeramente inferiores en el caso de la conducción eficiente. El valor del consumo hallado ha sido bastante preciso en ambos casos, con errores de cálculo inferiores al 3 % respecto al valor proporcionado por el automóvil.

Variable	Conducción eficiente	Conducción no eficiente
Tiempo	689 s	606 s
Distancia	2,663 km	2,680 km
Consumo medio medido	7,859 l/100 km	8,188 l/100 km
Consumo medio real	8,1 l/100 km	8,4 l/100 km
Error (consumo)	2,975 %	2,524 %
$CO_2$	0,553 kg	0,580 kg
Gases nocivos	0,015 kg	0,016 kg

Tabla 6.1: Tabla comparativa de resultados: Viaje urbano con conducción eficiente y no eficiente.

El consumo medio medido, cantidad de  $CO_2$  y cantidad de gases nocivos ha sido obtenido a partir de las Ecuaciones pertinentes (3.29, 3.30 y 3.33).

En cuanto a los criterios relacionados con la conducción eficiente, se encuentran en la Figura 6.6. Se puede observar cómo todos los criterios presentan una puntuación mayor en el caso del

viaje eficiente. La variable más diferenciada entre ambos tipos de conducción es la que mide los cambios de marcha, seguida de la aceleración, la deceleración y los arranques.

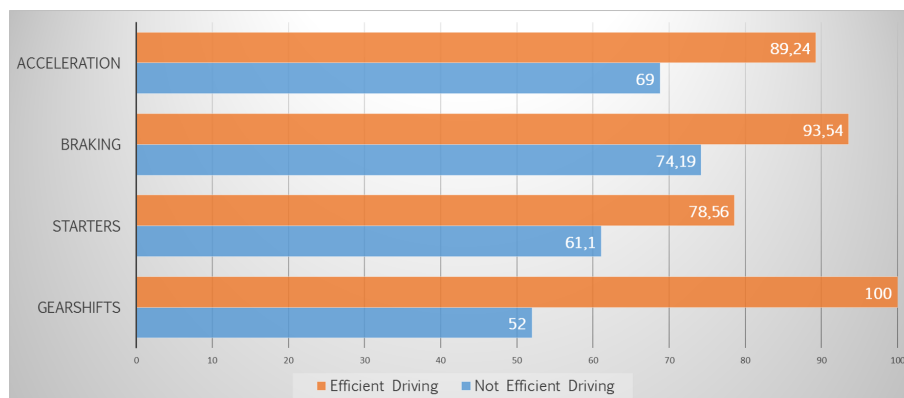


Figura 6.3: Tabla comparativa de criterios: Viaje urbano con conducción eficiente y no eficiente

## 6.2. Trayectos mixto e interurbano

Una vez evaluada la eficacia de la aplicación en entornos urbanos, se ha hecho un estudio similar para rutas en entornos interurbanos, así como en entornos mixtos (que combinan urbano e interurbano). Los viajes se han realizado también en el centro de Azuqueca de Henares y en la Autovía A-2 que une Madrid con Barcelona, a su paso por la localidad mencionada.

Se ha considerado interesante el estudio de otros tipos de trayectos debido a que el consumo en ciudad es generalmente superior al que se obtiene en autovías o carreteras secundarias. De esta forma, será posible observar cómo varía el cálculo del consumo con el método propuesto. A priori, es lógico pensar que los resultados serán más precisos en trayectos no urbanos, puesto que las variables que permiten el cálculo del consumo presentan menor oscilación y este valor se puede asemejar más al proporcionado por el vehículo.

Los resultados gráficos de los dos viajes se muestran en las Figuras 6.4 y 6.5. En el primer viaje, es posible observar una porción urbana, aproximadamente entre los 80 y 580 segundos. A partir de ahí aparece el trayecto por autovía, que se prolonga hasta los 800 segundos aproximadamente, donde aparece una salida a vía de servicio.

El segundo viaje presenta gran cantidad de trayecto en autovía, abarcando más de 600 segundos respecto a los 900 aproximadamente del trayecto.

A la vista de las variables, se hace evidente el efecto que produce la conducción en autovía respecto a la urbana. En tramos interurbanos se observa una oscilación mucho menor de las variables revoluciones por minuto y velocidad, así como una gran disminución del número de consejos mostrados al usuario en tiempo real. Además, el consumo se decrementa con fuerza, estableciéndose en valores que rondan los 3-5 litros consumidos por cada 100 kilómetros.

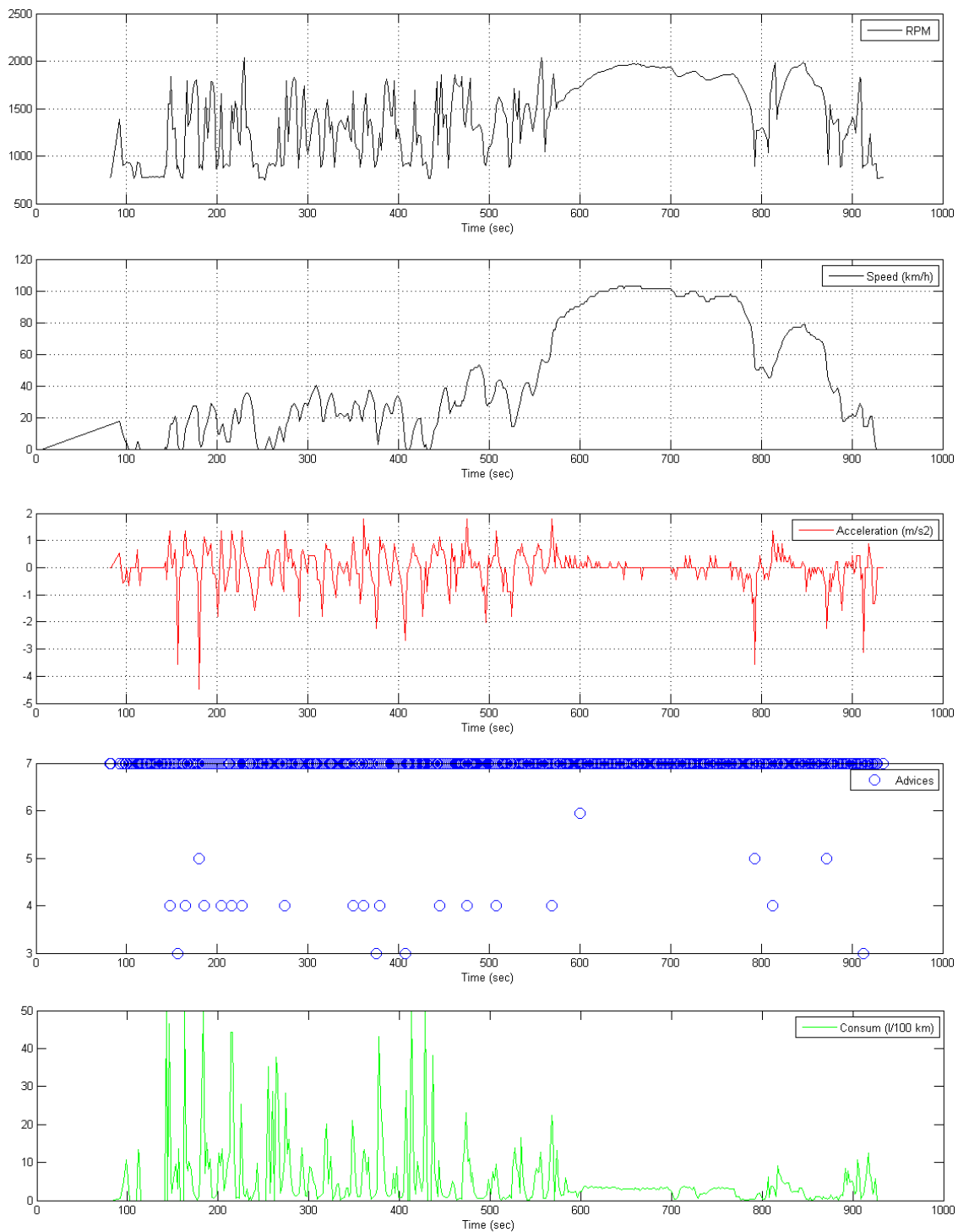


Figura 6.4: Evolución de las variables RPM, velocidad, aceleración, consejos sugeridos al usuario y consumo. Viaje mixto.

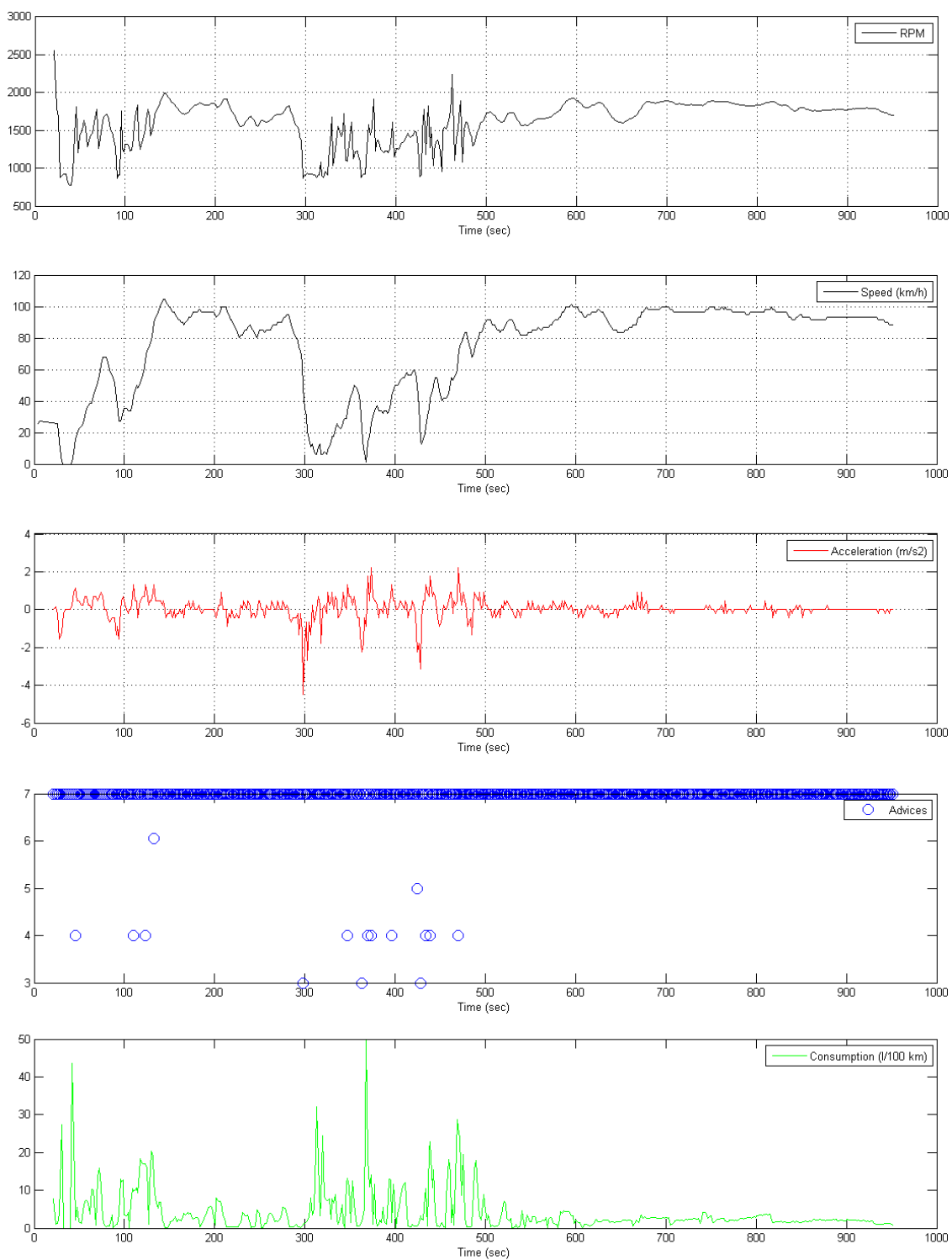


Figura 6.5: Evolución de las variables RPM, velocidad, aceleración, consejos sugeridos al usuario y consumo. Viaje interurbano.

Variable	Viaje mixto	Viaje interurbano
Tiempo	841 s	931 s
Distancia	8,831 km	20,38 km
Consumo medio medido	4,703 l/100 km	4,121 l/100 km
Consumo medio real	4,8 l/100 km	4,2 l/100 km
Error (consumo)	2,021 %	1,880 %
$CO_2$	1,065 kg	2,192 kg
Gases nocivos	0,195 kg	0,059 kg

Tabla 6.2: Tabla de resultados: Viaje mixto y Viaje interurbano

Como se observa en la Tabla 6.2, el consumo es superior en un trayecto mixto que en uno con mayor tiempo interurbano. Sin embargo, hay que prestar atención al porcentaje de error al calcular el consumo medio efectuado por el turismo. En ambos casos el error apenas alcanza el 2 %, un margen más que aceptable.

### 6.3. Trayectos con otros usuarios

Hasta ahora todos los viajes han sido pilotados por el mismo conductor (Usuario 1) en el mismo automóvil (*Seat Ibiza FR 2014*). Sin embargo, no todos los conductores presentan los mismos patrones de conducción en la carretera, y cada automóvil presenta unas características técnicas propias, por lo que se hace necesario el estudio con otros vehículos y usuarios. Se han efectuado dos viajes mixtos con otros dos conductores (Usuario 2 y Usuario 3).

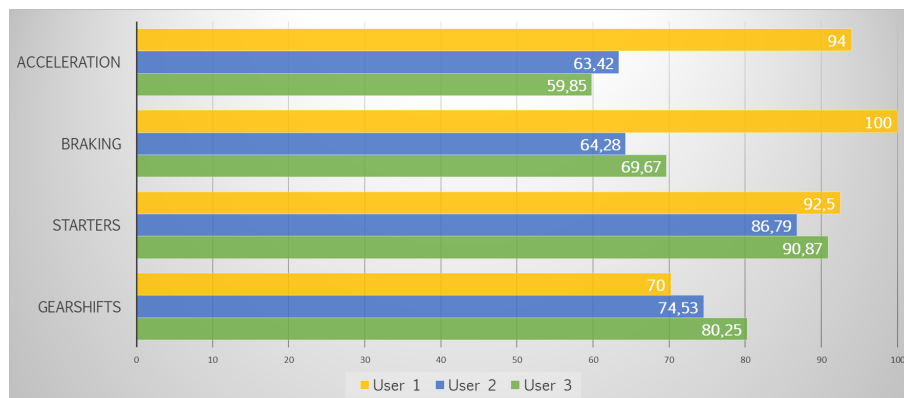


Figura 6.6: Tabla comparativa de criterios: Usuarios 1, 2 y 3.

En la Figura 6.6 se refleja cómo los usuarios presentan diferentes conductas en los viajes. Si fueran conductores con unos patrones de conducción similares, el estudio con ellos no aportaría nada nuevo. Para la comparativa se han incluido los criterios resultantes de los viajes mixtos en los tres usuarios.

Los resultados de los viajes se pueden observar en la Tabla 6.3, así como en las Figuras 6.7 y 6.8. Se trata de viajes susceptibles de ser comparados, pues la duración es similar y el tiempo en autovía y urbano se encuentra en la misma proporción.

Es interesante observar que la conducción del usuario 3 ha sido más eficiente que la del usuario 2, y así lo muestran los datos de consumo. De hecho, aún habiendo recorrido casi 3

kilómetros más, el usuario 3 emite a la atmósfera prácticamente la misma cantidad de dióxido de carbono y de gases nocivos para la salud que el usuario 2.

Estos datos se encuentran directamente relacionados con los resultados obtenidos para los criterios de conducción eficiente, donde el usuario 3 presenta mayor puntuación en cambios de marcha y arranques, muy determinantes de cara al consumo final, así como en tiempos de frenada.

Se ha incluido la Tabla 6.4, donde se muestran las características más importantes del automóvil empleado, incluyendo los consumos que indica el fabricante en los tres tipos de entorno. A la vista de los resultados, es evidente que los valores teóricos de consumo no se corresponden con los prácticos, puesto que en todos los casos el valor real que proporciona el automóvil supera al valor teórico.

También se pueden observar las características del usuario que ha realizado el viaje, referentes a edad, antigüedad del carnet de conducir y sexo. De momentos no es posible obtener conclusiones a este respecto con una base de datos tan pequeña, pero se tiene en mente para trabajos futuros.

Variable	Usuario 1	Usuario 2	Usuario 3
Tiempo	841 s	673 s	805 s
Distancia	8,831 km	10,407 km	13,246 km
Consumo medio medido	4,703 l/100 km	5,482 l/100 km	4,281 l/100 km
Consumo medio real	4,8 l/100 km	5,1 l/100 km	4,6 l/100 km
Error (consumo)	2,021 %	7,490 %	6,935 %
$CO_2$	1,065 kg	1,489 kg	1,480 kg
Gases nocivos	0,195 kg	0,040 kg	0,040 kg

Tabla 6.3: Tabla comparativa de resultados: Usuarios 1, 2 y 3.

Características	Usuario 1	Usuario 2	Usuario 3
Vehículo	<i>Seat Ibiza FR 1.2 TSI 90 CV 2014</i>	<i>Peugeot 207 X-LINE 1.6 HDI 90 CV 2007</i>	<i>Seat León DSG1.6 TDI 105 CV 2012</i>
Cons. urbano (Fab)	5,9 l/100 km	5,8 l/100 km	4,7 l/100 km
Cons. extraurbano (Fab)	3,9 l/100 km	3,8 l/100 km	3,4 l/100 km
Cons. mixto (Fab)	4,6 l/100 km	4,5 l/100 km	4,0 l/100 km
Edad	21	26	50
Antigüedad del carnet	3	8	25
Sexo	Hombre	Hombre	Mujer

Tabla 6.4: Tabla de características: Usuarios 1, 2 y 3.

Además de estos viajes, se han realizado otras rutas con usuarios y vehículos distintos. En este caso no se incluyen las gráficas del viaje, sino un resumen homólogo a los anteriores (Tablas 6.5 y 6.6). Todos estos trayectos se han realizado en un entorno mixto, para comprobar la eficacia del método propuesto incluyendo zonas urbanas y extraurbanas. Además, la duración de los viajes ha sido similar en todos ellos.

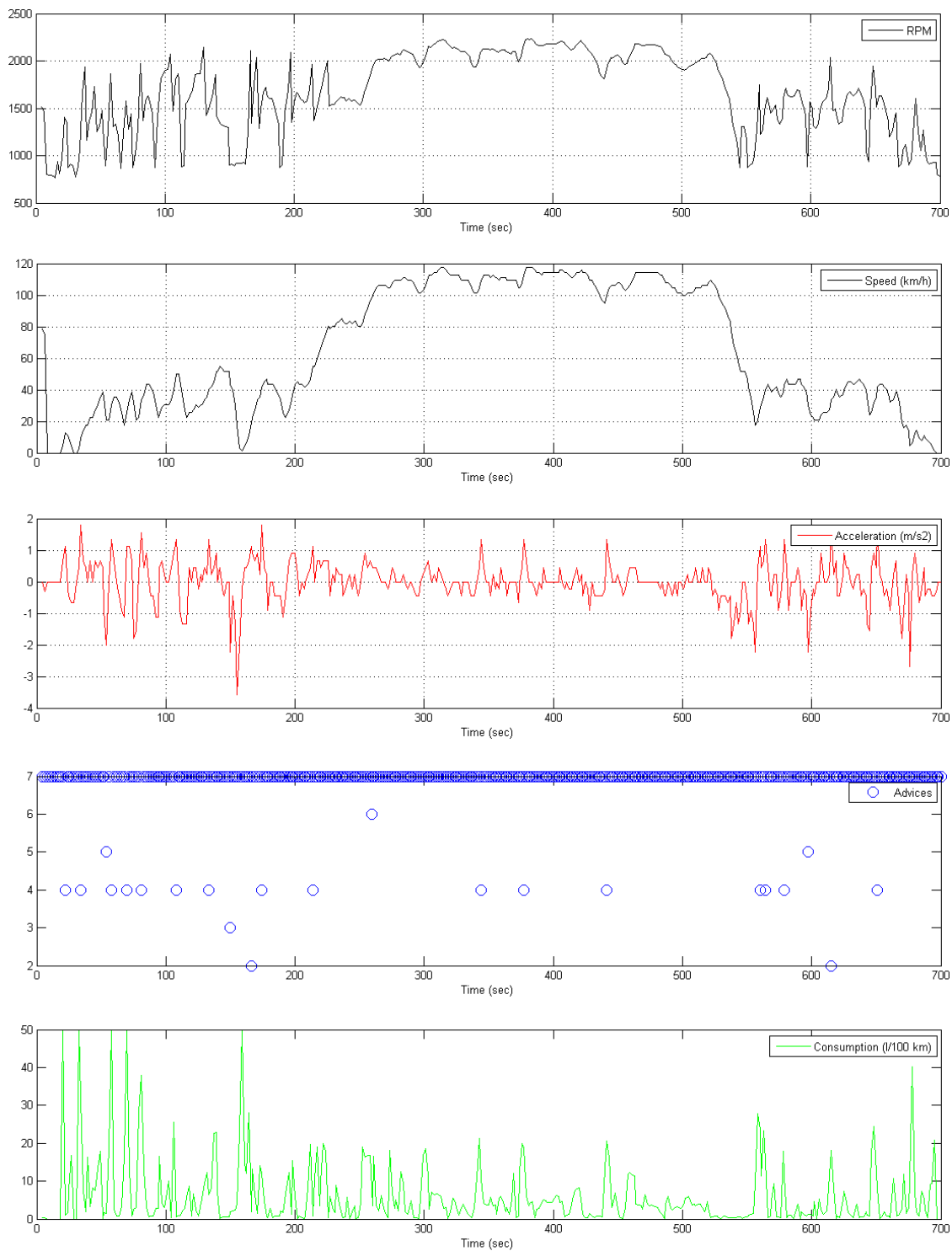


Figura 6.7: Evolución de las variables RPM, velocidad, aceleración, consejos sugeridos al usuario y consumo. Usuario 2



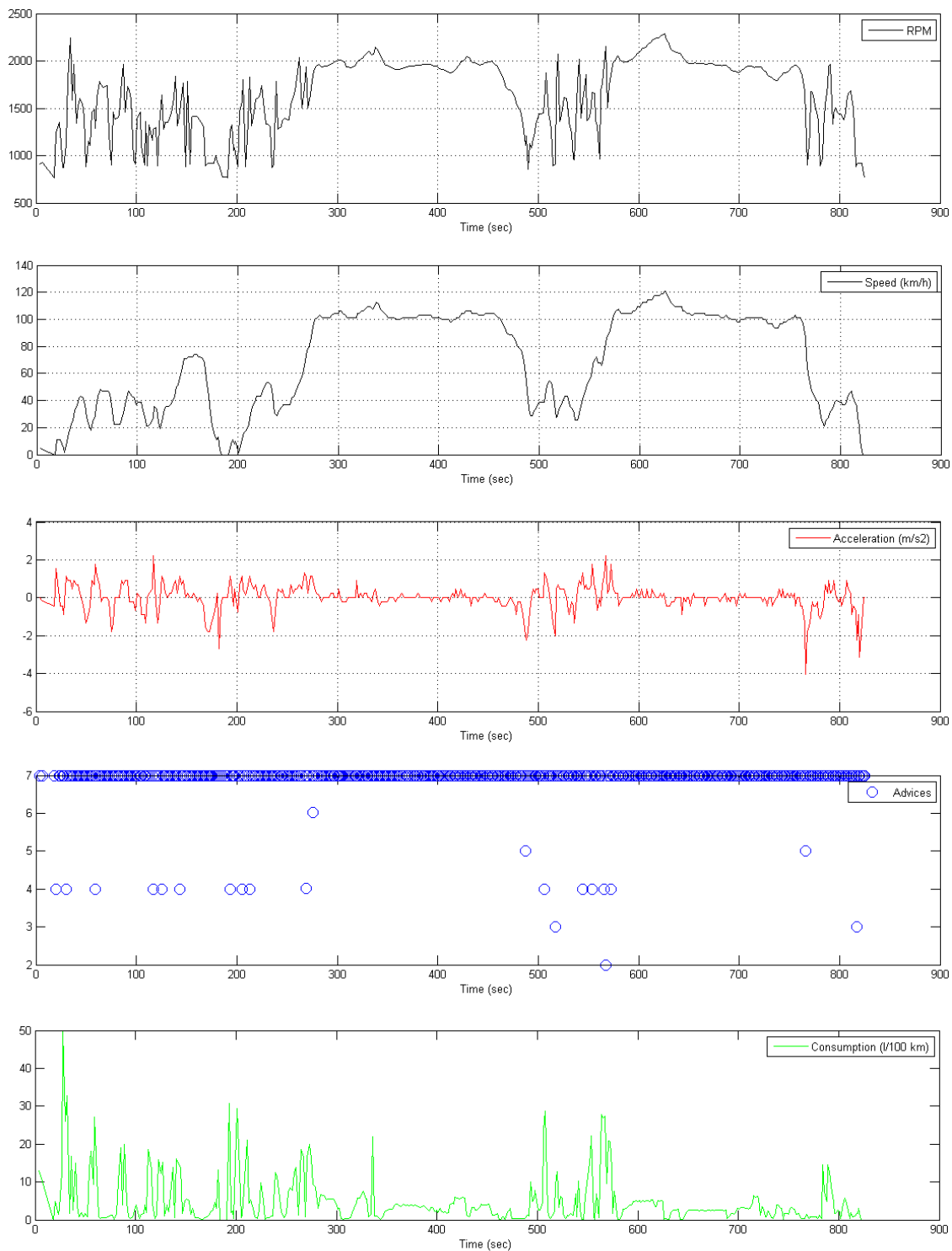


Figura 6.8: Evolución de las variables RPM, velocidad, aceleración, consejos sugeridos al usuario y consumo. Usuario 3

Variable	Usuario 4	Usuario 5	Usuario 6
Tiempo	802 s	957 s	730 s
Distancia	8,520 km	13,955 km	10,216 km
Consumo medio medido	4,110 l/100 km	5,623 l/100 km	5,216 l/100 km
Consumo medio real	4,4 l/100 km	6,1 l/100 km	5,0 l/100 km
Error (consumo)	6,591 %	7,820 %	4,320 %
$CO_2$	0,914 kg	2,048 kg	1,391 kg
Gases nocivos	0,025 kg	0,055 kg	0,037 kg

Tabla 6.5: Tabla comparativa de resultados: Usuarios 4, 5 y 6.

Características	Usuario 4	Usuario 5	Usuario 6
Vehículo	<i>Ford Fiesta 1.4 TDCi Trend 70CV 2010</i>	<i>Renault Laguna 1.9 dCi Dynamique 110 CV 2001</i>	<i>Nissan Juke 1.5 dCi Naru Edition 110 CV 2013</i>
Cons. urbano (Fab)	4,6 l/100 km	7,3 l/100 km	5,8 l/100 km
Cons. extraurbano (Fab)	3,7 l/100 km	4,6 l/100 km	4,2 l/100 km
Cons. mixto (Fab)	4,1 l/100 km	5,6 l/100 km	4,8 l/100 km
Edad	21	25	44
Antigüedad del carnet	2	4	25
Sexo	Mujer	Mujer	Hombre

Tabla 6.6: Tabla de características: Usuarios 4, 5 y 6.

Después de la realización de los diferentes viajes, es el momento de hacer balance de la fiabilidad de la aplicación en cuanto al cálculo del consumo medio de un viaje y la contaminación emitida. En la Tabla 6.7 aparece reflejado el porcentaje de error cometido en estos datos.

Características del viaje	Error (consumo)
Usuario 1 (Urbano 1)	2,975 %
Usuario 1 (Urbano 2)	2,524 %
Usuario 1 (Mixto)	2,021 %
Usuario 1 (Interurbano)	1,880 %
Usuario 2 (Mixto)	7,490 %
Usuario 3 (Mixto)	6,935 %
Usuario 4 (Mixto)	6,591 %
Usuario 5 (Mixto)	7,820 %
Usuario 6 (Mixto)	4,320 %

Tabla 6.7: Resumen de resultados: Error en el cálculo del consumo

Como se puede observar, los mejores resultados se obtienen para el Usuario 1. Esto se debe a que el desarrollo de la aplicación se ha llevado a cabo mediante pruebas en este automóvil, por lo que los parámetros, aunque de carácter generalista, se adecúan mejor a este turismo. Aunque los resultados resultan adecuados, si se deseara optimizar aún más el cálculo del consumo para otro vehículo en particular, el parámetro más susceptible de ser modificado es el parámetro de ajuste  $a$  que aparecía en la Figura 3.4 y en la Ecuación 3.26, pues el consumo no mantiene la misma relación con el producto flujo de aire-carga del motor en todos los motores.

Dentro del Usuario 1, es llamativo que el error es menor en trayectos interurbanos o mixtos que en trayectos urbanos. Esto se debe a que la Ecuación de consumo es más exacta cuando las variables permanecen más constantes, es decir, cuando se conduce por autovía.

Por su parte, el resto de usuarios presentan un ratio de error mayor. Sin embargo en todas las pruebas realizadas con los diferentes automóviles se observa que este error nunca supera el 8 %. Se puede considerar que es un error aceptable de cara a la aplicación, cuyo objetivo último es que el usuario diferencie entre las conductas eficientes que debe adoptar y las no eficientes.

Las gráficas incluidas en este capítulo han sido realizadas con el software *Matlab* y la documentación disponible online [25].



## Capítulo 7

# Conclusiones y Trabajos Futuros

Tras el desarrollo de este Trabajo Fin de Grado, se derivan una serie de conclusiones del mismo:

- El sistema OBD-II es la mejor forma de extraer las variables del vehículo. Existen capacidades dentro del smartphone que permiten el cálculo de variables como la velocidad o la aceleración, pero no se obtienen valores tan exactos como los del propio turismo y no es posible acceder a ciertos parámetros del mismo.
- Los criterios de eficiencia de la conducción están basados en los estándares definidos en el estado del arte y en su ajuste experimental en el automóvil a monitorizar. Sin embargo, llevan intrínseca una componente subjetiva, pues dependen de lo que cada conductor considera “conducción eficiente”, “arranque suave” o “cambio de marcha adecuado”. No obstante, en la aplicación se han tratado de implementar las constantes y umbrales necesarios con la mayor objetividad posible.
- Un servidor web de datos resulta de gran utilidad, pues nos permite disponer de los datos de forma inmediata en cualquier dispositivo para su posterior análisis y realimentación.
- Cada turismo presenta unas características y especificaciones propias, por lo que ajustar el comportamiento de todos mediante un único modelo no resulta una tarea sencilla. Es por ello que los cálculos del consumo y emisiones a la atmósfera presentan mayor error en aquellos automóviles que no han sido adaptados previamente.
- Los avisos o consejos en tiempo real conforman un aliciente de la aplicación muy útil para concienciar e introducir a los usuarios en el mundo de la conducción eficiente. Se ha demostrado su utilidad al mostrarse mayor cantidad de consejos en un viaje con conducta no eficiente que en uno con conducta eficiente.

En cuanto a futuras líneas de investigación derivadas del trabajo, se proponen las siguientes mejoras para *OBDivingCoach*:

- Hasta el momento la aplicación permite dar consejos en tiempo real tanto en vehículos de motorización diésel como gasolina, adaptando sus parámetros a uno y otro vehículo. De esta forma, es posible mostrar parámetros de conducción eficiente al usuario en ambos casos. Sin embargo, el cálculo del consumo no se ha conseguido implementar en el caso de vehículos gasolina, dado que uno de los parámetros necesarios (velocidad de flujo de aire MAF) no es proporcionado por el OBD-II. De cara al futuro, se propone el desarrollo de una Ecuación de consumo válida también para este tipo de turismos.

- El aspecto más susceptible de ser ampliado en el futuro es la adaptación de la aplicación al sistema operativo Android. Como ya se comentó en secciones anteriores, los terminales iPhone con sistema operativo iOS tienen menor implantación entre la población que la suma de marcas de teléfonos inteligentes que funcionan a través de Android.

La razón fundamental es que éstos últimos resultan más económicos y la mayor parte de ellos dotan al usuario de la funcionalidad que necesitan para el día a día. El proceso de portabilidad de un sistema a otro consistiría básicamente en la adaptación del código del lenguaje Objective-C a uno de los lenguajes aceptados por Android (Java, C, C++, etc.).

- La interfaz de usuario es otro de los módulos de la aplicación sobre el que se podrían efectuar mejoras. Actualmente, la interfaz propuesta es sencilla y fácilmente entendible, pero no es atractiva visualmente. En el futuro, sería posible personalizar las pantallas, rótulos, fuentes y demás aspectos estéticos de la aplicación.

El entorno que comúnmente se utiliza para el diseño de las aplicaciones es *Photoshop*, por lo que una persona con dominio del mismo y dotes para el grafismo y la comunicación audiovisual sería idónea para la mejora de la interfaz. Este aspecto es importante en cualquier aplicación de cara a una posible publicación en el mercado de aplicaciones.

- El estudio estadístico acerca de los hábitos de la conducción y de la huella de contaminación causada por la población es otro de los temas que sería posible abordar en el futuro. Suponiendo que un número considerable de personas tuviera instalada la aplicación, y disponiendo de los datos de los viajes a través del servidor web, sería factible llevar a cabo estudios a posteriori sobre las conductas observadas y su consiguiente emisión de gases contaminantes dependiendo de la edad del conductor, la antigüedad del carnet de conducir o el número de personas que viajan en el turismo.
- La ampliación del módulo de consejos con nuevos avisos también resulta interesante. Se podrían introducir nuevas sugerencias a partir de las variables del OBD-II, como se venía haciendo hasta ahora, o implementar nuevas fuentes de información (un módulo de mapas con avisos de velocidad según la localización, un sistema de cámaras que permita entrar en el mundo de la visión artificial, etc.).

# Parte II

## Manual de Usuario





# Manual

## Uso de la aplicación

En esta sección se va a explicar un breve manual a seguir si se desea utilizar la aplicación. Los pasos que se deben llevar a cabo se enumeran a continuación:

1. Conectar el adaptador OBD-II al conector del automóvil correspondiente.
2. Activar la red WiFi y la red de datos GPRS/3G/LTE/4G del *iPhone*, que permitirán la conexión con el adaptador OBD-II y con el servidor web de datos, respectivamente.
3. Establecer una conexión con la red inalámbrica *CLKDevices* ó su homóloga si se utiliza otro modelo de adaptador.
4. Entrar a la aplicación *OBDDrivingCoach*.
5. Rellenar los campos que aparecen en *User Data*: edad y sexo del usuario, antigüedad del carnet de conducir, tipo de combustible y cantidad de gente en el vehículo. El tratamiento de estos datos siempre será anónimo, y se recomienda introducir datos correctos para futuras mejoras de la aplicación.
6. Entrar a la pantalla *Trip* donde aparecen las variables del viaje.
7. Arrancar el motor y esperar a que se establezca la conexión con el dispositivo.
8. Realizar el viaje sin manipular de nuevo la aplicación y prestando atención a la carretera. En la pantalla se irán actualizando las variables del viaje, criterios, contaminación y consejos a tiempo real, que también serán reproducidos de forma sonora, por lo que se recomienda tener el sonido activo y el volumen del terminal alto.
9. Al terminar el viaje, apagar el motor.
10. A continuación, se recomienda desactivar la red WiFi y/o extraer el adaptador OBD-II para apagar la red.
11. Con la red de datos GPRS/3G/LTE/4G activa, pulsar el botón *Send Data to the Server* para que el servidor pueda disponer de una base de datos de usuarios potente.
12. Si se desean consultar las estadísticas de viajes pasados, se puede entrar a la pantalla *Statistics*.

## Programación de la aplicación

A continuación se explicarán los pasos que se deben seguir si en el futuro se desea programar la aplicación para cambiar su funcionamiento, mejorar la interfaz u optimizar sus resultados:

1. En primer lugar, es necesario tener instalado el software gratuito Xcode (se recomienda la versión actual 6.2), que se puede descargar del Apple Store del Mac.
2. A continuación, se debe entrar a la carpeta *OBDrivingCoach* y abrir el proyecto *OBDrivingcoach.xcodeproj*.
3. Dentro del proyecto, se efectuarán los cambios necesarios: *BasicScanViewControlller.mm* y su correspondiente cabecera *BasicScanViewControlller.hpp* permiten cambiar el funcionamiento que se muestra en la pantalla *Trip* de la aplicación, en el archivo *MainStoryboard.storyboard* se puede configurar la interfazo transición entre pantallas, si se desean añadir nuevos audios o imágenes es posible incluirlos en la carpeta *Resources*, etc.
4. Una vez efectuados los cambios, se conecta el terminal iPhone con el cable USB de datos al portátil. El ordenador lo detectará y lo elegirá automáticamente como dispositivo de volcado de la aplicación.
5. Al pulsar el botón de *Run* el programa compila los archivos y, si no hay errores, se cargará la aplicación en el terminal. Si se deja conectado el móvil es posible observar el menú de *Debug*, añadir breakpoints u observar la línea de comandos con mensajes *NSLog*.

## Parte III

# Pliego de condiciones



# Pliego de condiciones

## Requisitos de Hardware

Los requisitos de hardware de este Trabajo Fin de Grado han sido:

- Ordenador MacBook con las siguientes características:
  - CPU de 2.60 GHz.
  - Memoria RAM de 8 GB.
  - Tarjeta gráfica Intel HD Graphics 5300.
  - Disco duro de 500 GB.
- Ordenador Lenovo Intel Core i7-4702MQ con las siguientes características:
  - CPU de 2.20 GHz.
  - Memoria RAM de 6 GB.
  - Tarjeta gráfica Intel HD Graphics 4600.
  - Disco duro de 1 TB.
- Adaptador WiFi OBD-II ELM327
- Terminal iPhone 4S
- Disco duro externo WD de 2 TB para copias de seguridad del proyecto.

## Requisitos de Software

Los requisitos de software se presentan a continuación:

- Sistemas operativos OS X Yosemite, Linux distribución Ubuntu 14.04.2 LTS y Microsoft Windows 8.
- Desarrollador de aplicaciones Xcode 6.2.
- Software de acceso a la información del terminal iExplorer 3.
- Aplicación básica para captura de datos OBD-II BasicScan.
- Editor de texto para LaTeX Kile 2.1.3.



## Parte IV

# Presupuesto





# Presupuesto

## Costes de ejecución material

En esta sección se adjunta un desglose de los costes estimados para este proyecto en cuanto a hardware, software y mano de obra se refiere.

Concepto	Precio unitario	Cantidad	Subtotal
Ordenador MacBook	999€	1	999€
Ordenador Lenovo Intel Core i7-4702MQ	549€	1	549€
Adaptador WiFi OBD-II ELM327	29€	1	29€
Terminal iPhone 4S	345€	1	345€
Disco duro externo WD de 2 TB	87€	1	87€
<b>Subtotal final</b>			<b>2009€</b>

Tabla 7.1: Costes de hardware

Concepto	Precio unitario	Cantidad	Subtotal
S.O. OS X Yosemite	0€	1	0€
S.O. Ubuntu 14.04.2 LTS	0€	1	0€
S.O. Windows 8	135€	1	135€
XCode 6.2	0€	1	0€
iExplorer 3	0€	1	0€
BasicScan App	0€	1	0€
Kile 2.1.3	0€	1	0€
<b>Subtotal final</b>			<b>135€</b>

Tabla 7.2: Costes de software

Concepto	Precio unitario	Cantidad	Subtotal
Ingeniería	25€	640	16000€
Mecanografía	15€	160	2400€
<b>Subtotal final</b>			<b>18400€</b>

Tabla 7.3: Costes de mano de obra

Concepto	Subtotal
Costes de hardware	2009€
Costes de software	135€
Costes de mano de obra	18400€
<b>Subtotal final</b>	<b>20544€</b>

Tabla 7.4: Costes totales de ejecución material

## Gastos generales y beneficio industrial

Los gastos generales y el beneficio industrial son desembolsos obligatorios que proceden de la utilización de las instalaciones de trabajo y los ingresos generados a nivel de manufactura. Para estas cuentas se estima un porcentaje del 16 % sobre el coste total de ejecución material:

Concepto	Subtotal
Costes de ejecución material	20544€
Porcentaje estimado	16 %
<b>Subtotal final</b>	<b>3287€</b>

Tabla 7.5: Costes totales de ejecución material

## Presupuesto de ejecución por contrata

En este presupuesto se realiza el sumatorio de los resultados de los costes de ejecución material, los gastos generales y el beneficio industrial.

Concepto	Subtotal
Costes de ejecución material	20544€
Gastos generales y beneficio industrial	3287€
<b>Subtotal final</b>	<b>23831€</b>

Tabla 7.6: Presupuesto de ejecución por contrata

## Importe total del presupuesto

En último término, se calcula el presupuesto final del proyecto a partir de los costes totales de ejecución por contrata más el porcentaje de IVA del 21 % aplicado.

Concepto	Subtotal
Presupuesto de ejecución por contrata	23831€
21 % de IVA aplicado	5005€
<b>Total final</b>	<b>28836€</b>

Tabla 7.7: Importe total del presupuesto

El importe total del presupuesto asciende a: **28836 €(Veintiocho mil ochocientos treinta y seis euros)**.

# Apéndices



## Apéndice

En este apartado se van a comentar los principales directorios o archivos de que consta el proyecto de la aplicación, así como su función a grandes rasgos dentro de la misma:

- Archivos principales del proyecto. Se incluyen los siguientes:

*BasicScanAppDelegate.m* y *BasicScanAppDelegate.h*. Estos archivos permiten vincular la aplicación al *viewController* y *window* principales.

*UserDataViewController.m* y *UserDataViewController.h*. A través de estos archivos se alojan los objetos *Stepper* y *SegmentedControl* que permiten elegir las características del viaje en la pantalla *User Data*.

*OBDDrivingCoachViewController.mm* y *OBDDrivingCoachViewController.hpp*. Estos archivos constituyen el núcleo de la aplicación. Sirven para establecer la conexión, decidir los PIDs que se demandarán al adaptador, la escritura de las variables en archivos .txt, funciones de subida de archivos al servidor web, y todos los cálculos que conforman la aplicación: la administración del núcleo de consejos y sus variables, el cálculo del consumo de gases contaminantes y de los criterios de conducción eficiente, etc. Cabe mencionar que la extensión de estos archivos es distinta a la del resto porque albergan líneas de código en lenguaje C++.

- Archivos del proyecto *OBD2Kit.xcodeproj*. En la aplicación se incluyen archivos necesarios para la comunicación con el adaptador ELM327 OBD-II y con otros con los que es compatible. En estos archivos también aparece un listado de las posibles variables, así como funciones de conversión de unas unidades a otras.
- Librería *AFNetworking*. Este framework permite implementar las comunicaciones de iPhone/iPAD, concretamente para enviar los datos al servidor web en este proyecto. Tiene una arquitectura modular con un buen diseño, y un motón de características API fáciles de utilizar.
- Librerías *MiniZip* y *Objective-Zip*, gracias a las cuales es posible llevar a cabo la compresión de todos los archivos .txt para su posterior subida al servidor web.
- Directorio *Resources*. Contiene todos aquellos audios .wav e imágenes .png incluidos en la aplicación.



# Bibliografía

- [1] R. Araujo, A. Igreja, R. de Castro, and R. Araujo, “Driving coach: A smartphone application to evaluate driving efficient patterns,” in *Intelligent Vehicles Symposium (IV), 2012 IEEE*, June 2012, pp. 1005–1010.
- [2] N. Ishikawa, K. Onda, K. Watanabe, K. Kobayashi, and Y. Kurihara, “Mobile phone application for ecodriving,” in *SICE Annual Conference 2010, Proceedings of*, Aug 2010, pp. 2424–2447.
- [3] V. C. Magaña and M. M. Organero, “Artemisa: Using an android device as an eco-driving assistant,” in *Cyber Journals: Multidisciplinary Journals in Science and Technology, Journal of Selected Areas in Mechatronics (JMTC)*, 2011.
- [4] A. Alessandrini, F. Filippi, and F. Ortenzi, “Consumption calculation of vehicles using obd data,” in *20th International Emission Inventory Conference: Meeting the Challenges Posed by Emerging Global, National, and Regional and Local Air Quality Issues*, Aug 2012, pp. 1–17.
- [5] M. Lee, Y. Park, K. Jung, and J. Yoo, “Estimation of fuel consumption using in-vehicle parameters,” *International Journal of u- and e- Service, Science and Technology*, vol. 4, no. 4, pp. 37–46, Dec 2011.
- [6] B. Lightner, “Avr-based fuel consumption gauge,” *Circuit Cellar, the Magazine for Computer Applications.*, vol. 183, pp. 59–64, Oct 2005.
- [7] *Guía práctica para el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI)*, Oficina Catalana del Canvi Climatic, March 2015. [Online]. Available: [http://canviclimatic.gencat.cat/web/.content/home/politiques/politiques\\_catalanes/la\\_mitigacio\\_del\\_canvi\\_climatic/guia\\_de\\_calcul\\_demissions\\_de\\_co2/120301\\_guia\\_practica\\_calcul\\_emissions\\_rev\\_es.pdf](http://canviclimatic.gencat.cat/web/.content/home/politiques/politiques_catalanes/la_mitigacio_del_canvi_climatic/guia_de_calcul_demissions_de_co2/120301_guia_practica_calcul_emissions_rev_es.pdf)
- [8] *Emisiones de gases de escape de vehículos: Composición, reducción, normas,... Programa autodidáctico 230.*, Volkswagen Group, Sept 2009.
- [9] “Can bus. new installation technology,” 2015. [Online]. Available: <http://canbuskit.com/what.php>
- [10] “The obd-ii home page,” 2013. [Online]. Available: <http://www.obdii.com/>
- [11] “Epa (united states environmental protection agency): On-board diagnostics,” 2015. [Online]. Available: <http://www.epa.gov/obd/index.htm>
- [12] J. Blanco, “Apple adelanta a samsung en las ventas de móviles gracias al iphone 6,” *El País*, March 2015. [Online]. Available: [http://elpais.com/eventos/2015/03/03/mwc/1425380403\\_016778.html](http://elpais.com/eventos/2015/03/03/mwc/1425380403_016778.html)

- [13] “Obd-ii pids.” [Online]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/OBD-II\\_PIDs](https://en.wikipedia.org/wiki/OBD-II_PIDs)
- [14] “Uso eficiente del coche. conduzca y utilice su vehículo de forma inteligente y sostenible.” 2015. [Online]. Available: <http://adicae.net/idae/conduccion/secciones/consumo.html>
- [15] *La Conducción Eficiente*, IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía), Oct 2005.
- [16] *Manual de Conducción Eficiente para Vehículos Turismo*, IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía), 2006.
- [17] “El consumo medio de los coches en españa baja un 20 por ciento,” *El Mundo*, July 2014. [Online]. Available: <http://www.elmundo.es/motor/2014/07/14/53c3aae9268e3ee04f8b457d.html>
- [18] “La gasolina gana terreno al diésel en los últimos años,” *Autofácil*, Jan 2015. [Online]. Available: <http://www.autofacil.es/gasolina-barata/2015/01/27/gasolina-gana-terreno-diesel-ultimos-anos/22965.html>
- [19] S. Viñuela, “Sistema start-stop, prueba real de ahorro de combustible,” *Auto Bild*, Oct 2011. [Online]. Available: <http://www.autobild.es/practicos/sistema-start-stop-prueba-ahorro-combustible-166409>
- [20] C. Álvarez, “Cómo influye la velocidad en la contaminación de los coches,” *El País*, Feb 2011. [Online]. Available: <http://blogs.elpais.com/eco-lab/2011/02/como-influye-la-velocidad-en-la-contaminacion-de-los-coches.html>
- [21] J. F. Thomas, B. H. West, and S. P. Huff, “Ornl researchers quantify the effect of increasing highway speed on fuel economy,” Jan 2013. [Online]. Available: <http://www.greencarcongress.com/2013/01/thomas-20130117.html>
- [22] *Distracciones al volante (Veinticinco temas de educación para la seguridad vial)*, Ministerio del Interior. Dirección General de Tráfico (DGT), 2014. [Online]. Available: [http://www.dgt.es/PEVI/documentos/catalogo\\_recursos/didacticos/did\\_adultas/Distracciones\\_al\\_volante.pdf](http://www.dgt.es/PEVI/documentos/catalogo_recursos/didacticos/did_adultas/Distracciones_al_volante.pdf)
- [23] “Campaña stop distracciones al volante,” RACE (Real Automóvil Club de España). [Online]. Available: <http://www.race.es/seguridadvial/formacion-race/distracciones/stop-distracciones>
- [24] E. Romera, “Driver behavior evaluation by using smartphones,” Master’s thesis, Escuela Politécnica Superior, Alcalá de Henares, 2015.
- [25] “Matlab documentation,” 2015. [Online]. Available: <http://es.mathworks.com/help/matlab/>